



www.meetcon.org

MEETCON-BAKU

INTERNATIONAL
CONGRESS OF APPLIED SCIENCES

JANUARY | 27 | 30 | 2026

BAKU | AZERBAIJAN

EDITORS

Prof. Dr. Fahreddin Memmedov

Assoc. Prof. Dr. Hasan ÇİFTÇİ

ISBN : 979-8-89695-319-7

INDEX

CONGRES ID		II-IV
PROGRAM		V-XI
GALLERY		XII-XIII
ACADEMIC INCENTIVE		XIV
ACADEMIC REPRESENTATIVE APPOINTMENT LETTER		XV
NOTIFICATIONS		XVI-XX

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE

**MEETCON - BAKU
INTERNATIONAL CONGRESS OF APPLIED SCIENCES**

DATE AND PLACE

January 27-30, 2026

ORGANIZATION

MEETCON CONFERENCE

GENERAL COORDINATOR

Şemim Zelal ALAGÖZ

EDITOR

**Prof. Dr. Fahreddin Memmedov
Assoc. Prof. Dr. Hasan ÇİFTÇİ**

ORGANIZING COMMITTEE

Assoc. Prof. Dr. Hasan ÇİFTÇİ

Assoc. Prof. Dr. Okan ÇOLAK

Doç. Dr. Zülfiyyə İSMAYİL - Nahçıvan Devlet Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin ERİŞ

Assoc. Prof. Dr. Mahmut BARAKAZI

Assoc. Prof. Dr. Cavadxan QASIMOV, Nahçıvan Devlet Üniversitesi

Asst. Prof. Dr. Esra AKPINAR

Dr. Elvan Cafarov - Azərbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi

PhD. Efruz Nesirova - Odlar Yurdu Üniversitesi

PhD. Emma Seidova - Odlar Yurdu Üniversitesi

Ayna Memmedova - Odlar Yurdu Üniversitesi

ISBN: ‘979-8-89695-319-7’

Copyright © Liberty

Liberty Publishing House
Water Street Corridor New York, NY 10038
www.libertyacademicbooks.com
+1 (314) 597-0372

ALL RIGHTS RESERVED NO PART OF THIS BOOK MAY BE REPRODUCED IN ANY FORM, BY PHOTOCOPYING OR BY ANY ELECTRONIC OR MECHANICAL MEANS, INCLUDING INFORMATION STORAGE OR RETRIEVAL SYSTEMS, WITHOUT PERMISSION IN WRITING FROM BOTH THE COPYRIGHT OWNER AND THE PUBLISHER OF THIS BOOK.

© Liberty Academic Publishers 2025

The digital PDF version of this title is available Open Access and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits adaptation, alteration, reproduction and distribution for noncommercial use, without further permission provided the original work is attributed. The derivative works do not need to be licensed on the same terms.
adopted by Mariam Rasulan

Issued: 11.02.2026

ISBN: 979-8-89695-319-7

EDITORS

Prof. Dr. Fahreddin Memmedov

Assoc. Prof. Dr. Hasan ÇİFTÇİ



INTERNATIONAL CONFERENCE NETWORK

SCIENCE AND ADVISORY COMMITTEE

- Prof. Dr. Bongkosh Ngamsom Rittichainuwat- Siam University, TAYLAND
Prof. Dr. Dogan Gursoy- Washington State University, ABD
Prof. Dr. Heike A. Schänzel-Auckland University of Technology NEW ZEALAND
Prof. Dr. Marina Novelli- University of Nottingham Business, ENGLAND
Prof. Dr. Michael C. Hall- University of Canterbury, NEW ZEALAND
Prof. Dr. Mohd Hafiz Mohd Hanafiah- Universiti Teknologi MARA, MALAYSIA
Prof. Dr. Sara Dolnicar- The Üniversite of Queensland Avustralya, AUSTRALIA
Prof. Dr. Aliye Akın Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, TÜRKİYE
Prof. Dr. Feriha DİKMEN DELİCEİRMAK Girne Amerikan Üniversitesi, CYPRUS
Prof. Dr. Nedim BAYUK, Harran University, TÜRKİYE
Prof. Dr. Mahire HÜSEYNOVA - Azerbaijan Devlet Pedagogi Üniversitesi
Prof. Dr. Gönül SAMEDOVA - Azerbaijan Devlet Pedagogi Üniversitesi
Prof. Dr. Bongkosh Ngamsom Rittichainuwat- Siam University
Prof. Dr. Dogan Gursoy- Washington State University
Prof. Dr. Heike A. Schänzel-Auckland University of Technology
Prof. Dr. Marina Novelli- University of Nottingham Business,
Prof. Dr. Michael C. Hall- University of Canterbury,
Prof. Dr. Mohd Hafiz Mohd Hanafiah- Universiti Teknologi MARA
Prof. Dr. Sara Dolnicar- The Üniversite of Queensland Avustralya
Prof. Dr. Aliye Akın - Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Prof. Dr. Feriha Dikmen Deliceirmak - Girne Amerikan Üniversitesi,
Prof. Dr. Nedim Bayuk - Harran University
Prof. Dr. Elşad Memmedov - Odlar Yurdu Üniversitesi
Prof. Dr. Ali Alirzayev - Odlar Yurdu Üniversitesi
Prof. Dr. Ramazan Memmedov - Odlar Yurdu Üniversitesi
Prof. Dr. Haydar Ganbarov - Odlar Yurdu Üniversitesi
Prof. Dr. Reşid Cabbarov - Odlar Yurdu Üniversitesi
Prof. Dr. Rüstem Resulov - Odlar Yurdu Üniversitesi
Doç. Dr. Nermine Veliyeva - Odlar Yurdu Üniversitesi
Doç. Dr. Sevinc Meherramova - Odlar Yurdu Üniversitesi
Doç. Dr. Nurida Muhtarzade - Odlar Yurdu Üniversitesi
Doç. Dr. Babek Feyzullayev - Odlar Yurdu Üniversitesi
Doç. Dr. Sevinc Memmedzade - Odlar Yurdu Üniversitesi
Doç. Dr. Aziz Eftehari – Ege Üniversitesi
Doç. Dr. Zülfiye İsmayıl - Nahçıvan Devlet Üniversitesi
Doç. Dr. Nicat Yagubov - Nahçıvan Devlet Üniversitesi
Doç. Dr. Elburus Veliyev - Nahçıvan Devlet Üniversitesi
Doç. Dr. Gülahmet İmanov - Bakü Devlet Üniversitesi
Doç. Dr. Vladimir Ionov - N. I. Lobachevsky Nizhny Novgorod Devlet Üniversitesi
Doç. Dr. Vusala Gusanova - N. I. Lobachevsky Nizhny Novgorod Devlet Üniversitesi
Doç. Dr. Gönül Hasanova - Azerbaijan Devlet Pedagogi Üniversitesi
Doç. Dr. Gülşen Meherremova - Azerbaijan Diller Üniversitesi
Doç. Dr. Ferhat ÇAĞRI ARAS Karadeniz Teknik Üniversitesi, TÜRKİYE
Doç. Dr. Nimet HARMANCI- Doğu Akdeniz Üniversitesi, CYPRUS
Doç. Dr. Tirab Abbkar TİRAB, Sudanese Embassy
Doç. Dr. Cavit Polat - Iğdır Üniversitesi
Assist. Prof. Muntazir Mehdi - National University of Modern Languages, Islamabad Pakistan
Dr. Natalya Yagunova - N. I. Lobachevsky Nizhny Novgorod Devlet Üniversitesi
Dr. Aygün Meherremova - Bakü Devlet Üniversitesi
Dr. Bauyrzhan Botakarayev - Hoca Ahmet Yesevi Üniversitesi
Dr. Aydın Aliyev - Odlar Yurdu Üniversitesi



www.meetcon.org

INTERNATIONAL CONFERENCE NETWORK

MEETCON - BAKU

INTERNATIONAL CONGRESS OF APPLIED SCIENCES

January 27-30, 2026 / BAKU, AZERBAIJAN

CONGRESS PROGRAM

PARTICIPANT COUNTRIES (5):

AZERBAIJAN/ UZBEKISTAN/ BANGLADESH/ MOROCCO/ RUSSIA

Total Accepted Article: 34

Total Rejected Papers: 7

Accepted Articles (Türkiye): 10

Accepted Articles (Other Countries): 24

ISBN : 979-8-89695-319-7

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- ❖ To be able to attend a meeting online, login via <https://zoom.us/join> site, enter ID “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.
- ❖ The participant must be connected to the session 5 minutes before the presentation time.
- ❖ All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- ❖ Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

Points to Take into Consideration - 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.
 - ◆ Requests such as change of place and time will not be taken into consideration in the congress program.
-
-

Önemli, Dikkatle Okuyunuz Lütfen

- ❖ Kongremizde Yazım Kurallarına uygun gönderilmiş ve bilim kurulundan geçen bildiriler için online (video konferans sistemi üzerinden) sunum imkanı sağlanmıştır.
- ❖ Online sunum yapabilmek için <https://zoom.us/join> sitesi üzerinden giriş yaparak “Meeting ID or Personal Link Name” yerine ID numarasını girerek oturuma katılabilirsiniz.
- ❖ Zoom uygulaması ücretsizdir ve hesap oluşturmaya gerek yoktur.
- ❖ Zoom uygulaması kaydolmadan kullanılabilir.
- ❖ Uygulama tablet, telefon ve PC’lerde çalışıyor.
- ❖ Her oturumdaki sunucular, sunum saatinden 5 dk öncesinde oturuma bağlanmış olmaları gerekmektedir.
- ❖ Tüm kongre katılımcıları canlı bağlanarak tüm oturumları dinleyebilir.
- ❖ Moderatör – oturumdaki sunum ve bilimsel tartışma (soru-cevap) kısmından sorumludur.

Dikkat Edilmesi Gerekenler- TEKNİK BİLGİLER

- ◆ Bilgisayarınızda mikrofon olduğuna ve çalıştığına emin olun.
 - ◆ Zoom'da ekran paylaşma özelliğine kullanabilmelisiniz.
 - ◆ Kabul edilen bildiri sahiplerinin mail adreslerine Zoom uygulamasında oluşturduğumuz oturuma ait ID numarası gönderilecektir.
 - ◆ Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir
 - ◆ Kongre programında yer ve saat değişikliği gibi talepler dikkate alınmayacaktır
-
-

Odlar Yurdu Üniversitesi
Köroğlu Rahimov caddesi 13, Bakü/Azerbaycan

AÇILIŞ TÖRENİ

SAAT

Bakü saati ile: 11:00-12:00

Ankara saati ile: 10:00-11:00

Prof. Dr. Ahmet VELIYEV
Odlar Yurdu Üniversitesi Rektörü,
Kongre Onursal Başkanı

Prof. Dr. Samir VELIYEV
Odlar Yurdu Üniversitesi, Yönetim Kurulu Başkanı
Kongre Başkanı

Prof. Dr. Fahreddin MEMMEDOV
Odlar Yurdu Üniversitesi, Rektör Yardımcısı
Kongre Bilim Kurulu başkanı

Doç. Dr. Hasan ÇİFTÇİ
Harran Üniversitesi,
İKSAD Enstitüsü, Meetcon,
Kongre Eş Başkanı

27 OCAK 2026/ YÜZ YÜZE / SESSION-2 / HALL-1



Odlar Yurdu Üniversitesi. Bakü/Azərbaycan



Ankara Local Time:12.00-14:30

Baku Local Time:13.00-15:30

HEAD OF SESSION: Aytac ƏZİMOVA

Authors	Affiliation	Presentation Title
Cuma AKBAY Hamdi AYYILDIZ	Kahramanmaraş Sutcu Imam University	THE IMPACT OF INCOME DISPARITIES ON FOOD CONSUMPTION PATTERNS IN TURKEY: A HOUSEHOLD-LEVEL ANALYSIS
Cuma AKBAY Hüseyin DİKİCİ	Kahramanmaraş Sutcu Imam University	HEAVY METAL POLLUTION IN AGRICULTURAL SOIL SURROUNDING THE LIGNITE-FIRED THERMAL POWER PLANT
Prof. Dr. Yaşar AYAZ Prof. Dr. Hakan YALÇINER Assoc.Prof.Dr.Atila KUMBASAROĞLU	İnönü University Erzincan Binali Yıldırım University	THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF RAW PERLITE AGGREGATE CONCRETE
Aytac ƏZİMOVA	Odlar Yurdu Universiteti	FORENSIC DNA ANALYSIS AND IDENTIFICATION OF A DECEASED PERSON
Narmin TANARVERDİYEVA MUSHFİQ Sevinj MAHARRAMOVA TELMAN	Odlar Yurdu Universiteti	SEVERE COMBINED IMMUNODEFICIENCY (SCID) AND THE CASE OF DAVID PHILLIP VETTER “BUBBLE BOY”
Sara ABBASZADE Ayaz MAMMADOV Saida AHMADBAYOVA Rufana ALİZADE Sevda Asadova	Y.H.Mamedaliyev’s Institute of Petrochemical Processes of the Ministry of Science and Education	THE CORROSION INHIBITION EFFECT OF NITRO PRODUCT-ETHANOLAMINE COMPLEXES DERIVED FROM THE LIGHT FRACTION OF COKING IN AN H ₂ S ENVIRONMENT
Dr.SC.prof. Eldar MAMMADBAYLI Vafa BABAYEVA Narmin MAMMADOVA Samira İSMAYILOVA Kamila HASANOVA	Institute of Petrochemical Processes named after acad. Y.H. Mammadaliyev	EFFECT OF IMIDAZOLINE BROMIDE COMPLEX BASED ON NORBORN-5-ENE-2- CARBOXYLIC ACID AGAINST H ₂ S CORROSION
Assoc. Prof.QOCAYEVA ELMİRA MEHEMMED Assoc. Prof. İBRAHİMOVA SADAQAT VELİ	Azerbaijan State Economic University Azerbaijan State Oil Industry University, Baku, Azerbaijan	PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MODERN INDUSTRIAL PRODUCTION

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

27 OCAK 2026/ ONLINE / SESSION-1 / HALL-4



Odlar Yurdu Üniversitesi, Bakü/Azərbaycan



Ankara Local Time:09.30-12:00

Baku Local Time:10.30-13:00

HEAD OF SESSION: Asst. Prof. Dr. Musa YILMAZ

Authors	Affiliation	Presentation Title
Ömer Faruk ÇİÇEK Assoc. Prof. Dr. Yaşar AYAZ	İnönü University	INVESTIGATION OF THE EFFECT OF POLYUREA THICKNESS ON THE BALLISTIC PERFORMANCE OF POLYMER/METAL COMPOSITE ARMOR USING THE FINITE ELEMENT METHOD
Ömer Faruk ÇİÇEK Assoc. Prof. Dr. Yaşar AYAZ	İnönü University	THE EFFECT OF POLYUREA LAYER POSITION ON BALLISTIC PROTECTION PERFORMANCE IN HYBRID ARMOR SYSTEMS: A NUMERICAL APPROACH
Asst. Prof. Dr. Musa YILMAZ	Naci Topcuoglu Vocational School	THE EFFECT OF THERMAL SURFACE TREATMENT AT DIFFERENT TEMPERATURES ON SURFACE OXIDATION AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF METAL WIRE
Ali JAFAROV	National Aerospace Agency	SOLAR THERMAL DESALINATION EFFICIENCY WITH PHASE CHANGE MATERIALS AND NANOFLUID COLLECTORS:ENERGY-STORAGE STRATEGIES FOR CASPIAN SEA WATER
Doç.Namiq MURADOV Çərkəz ƏHMƏDLİ	National Aerospace Agency	COMPENSATION OF DYNAMIC ERRORS IN HIGH-SPEED MEASURING CHANNELS
Zulfiyya ISMAYIL	Nakhchivan State University	COGNITIVE ASPECTS OF DERIVATOLOGY IN THE AZERBAIJANI LANGUAGE

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

27 OCAK 2026/ ONLINE / SESSION-1 / HALL-5



Odlar Yurdu Üniversitesi. Bakü/Azərbaycan



Ankara Local Time:09.30-12:00

Baku Local Time:10.30-13:00

HEAD OF SESSION: **Lect. Oya ÖZEL GÜRBÜZ**

Authors	Affiliation	Presentation Title
Sevil NAMAZOVA Aysel ASLANLI	Azerbaijan State Oil and Industry University Lomonosov Moscow State University	CONVERSION OF LOW-MOLECULAR-WEIGHT HYDROCARBONS USING ZEOLITE-SUPPORTED MICROBIAL BIOCATALYSTS ISOLATED FROM OIL-CONTAMINATED SITES IN BAKU, AZERBAIJAN
Lect. Oya ÖZEL GÜRBÜZ	Niğde Ömer Halisdemir University	ALTERNATIVE RAW MATERIAL FOR ENERGY: WASTE AND BIOMASS
Assist. Prof. Orhan Atakan GÜRBÜZ Assoc. Prof. Gülden GÖK	Niğde Ömer Halisdemir University Aksaray University	THE ROLE OF ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
Assist. Prof. Ceyhan YÜCEL	Yozgat Bozok University	NUTRITIONAL VALUE OF CORN SILAGE IN RUMINANT NUTRITION:IMPLICATIONS FOR ANIMAL PERFORMANCE AND SUSTAINABILITY
Izzet PIRIYEV Assoc. Prof. Akif KHIDIROV	Azerbaijan State Oil and Industry University	ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING SIGNAL QUALITY IN REMOTE ECG MONITORING SYSTEMS
Esmira GASIMZADE	Molecular Biology Institute Public Legal Entity	INVESTIGATION OF CELLULOSE-DEGRADING MICROORGANISMS IN THE UPPER REACHES OF THE QUDYALCHAY RIVER
Hakan BAĞ Prof. Dr. Seval YILMAZ	Fırat University	THE PROTECTIVE EFFECT OF SYRINGIC ACID AGAINST ACRYLAMIDE TOXICITY
Assoc.Prof. Atif NOVRUZOV Assoc.Prof. Sevdə Binyat MAMEDOVA Atif Tural AKBARZADE	Azerbaijan State Oil and Industry University Odlar Yurdu University Tashkent State Technical University	FACTORS IN THE FORMATION OF MANAGEMENT SYSTEMS FOR OIL AND GAS ENTERPRISES IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION
Prof. Safar Purhani Assoc.Prof. Sevdə Binyat MAMEDOVA Aliyeva Vusalya Safar	Western Caspian University Odlar Yurdu University National Aviation Academy	THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN BUSINESS: CURRENT STATUS AND PROSPECTS IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

27 OCAK 2026/ ONLINE / SESSION-1 / HALL-6



Odlar Yurdu Üniversitesi, Bakü/Azərbaycan



Ankara Local Time:09.30-12:00

Baku Local Time:10.30-13:00

HEAD OF SESSION: **Firuze ABDULLAZADE**

Authors	Affiliation	Presentation Title
Firuze ABDULLAZADE	Azerbaijan State Oil and Industry University	ENERGY-AWARE HASH FUNCTION DESIGN FOR BATTERY-CONSTRAINED DEVICES
Firuze ABDULLAZADE	Azerbaijan State Oil and Industry University	APPLICATION OF HASHING ALGORITHMS FOR USER AUTHENTICATION IN BRAIN-COMPUTER INTERFACE SYSTEMS
Assoc. Prof. Dr. Hamid ASADI DERESHGI Neziha ÇILLI Mina COLAK Buse Ayse Gul YILMAZ Bahadır SENTURK	Istanbul Arel University	A BIOMECHANICAL PERSPECTIVE ON PORTABLE FOOT AND ANKLE REHABILITATION TECHNOLOGY
Revan KERIMOV	Azerbaijan State Oil and Industry University	THE USAGE OF ZERO-TRUST ARCHITECTURE IN CLOUD SECURITY
Assoc. Prof. Akif KHİDİROV Sitara SULEYMANOVA	Azerbaijan State Oil and Industry University	INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING THE CONDITION OF OIL RIG STRUCTURES USING PIEZOELECTRIC SENSORS
Əfqan ƏBULFAZ OĞLU MUSAYEV	Odlar Yurdu University	ANALYSIS OF THE SITUATION OF INTERNATIONAL FINANCIAL CENTERS IN 2020-2025 EASTERN COUNTRIES
Mehriban ALIYEVA	Azerbaijan University of Languages	FEMINISM IN HISTORY AND LITERATURE: FROM LEGAL EMANCIPATION TO THE PROBLEM OF IDENTITY
Siddiqe HACIYEVA	Nakhchivan State University	THE CONCEPT OF VISUAL INTEGRITY IN VISUAL ART
Assoc. Prof. Cavid İSMAYILOV	Nakhchivan State University	THE PROBLEM OF COMPOSITION AND AESTHETIC INTEGRITY IN PAINTING
Assoc.Prof.Dr. Javadkhan QASIMOV Jafarova Narmin Tavakkul gizi	Nakhchivan State University	ISSUES OF INCREASING AND REGULATING THE LEVEL OF EMPLOYMENT IN THE CONDITIONS OF NEW ECONOMIC REALITIES
Solmaz İlham MEMMEDOVA	Odlar Yurdu University	THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SMALL BUSINESS DEVELOPMENT STRATEGY: CURRENT STATUS AND PROSPECTS

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

FOTO GALERY

zoom Workplace Toplantı Ayşegül Yılmaz adlı kişinin ekranı Görüntüle Giriş yapın

Coordinator Şe... ceyhun_YÜCEL ... Meetcon Yusuf... Bahadır Şentürk

Coordinator Şemim Ze... Ayşegül Yılmaz ceyhun_YÜCEL_HALL-2 Meetcon Yusuf Can Mina Çolak Bahadır Şentürk

Hareketin Biyomekanik Temelleri

Lokomotor Sistem

İnsan lokomotor sistemi; kemikler, eklemler, kaslar ve bağ dokularının koordineli çalışmasıyla hareketin gerçekleştiği karmaşık bir biyomekanik yapıdır. Bu sistem, yürüme, denge sağlama ve postür kontrolünün sürdürülebilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Kritik Rol

Ayak bileği eklemi, vücudun yer ile olan temasını düzenleyen ve yük aktarımını sağlayan temel eklemlerden biridir. Sagital düzlemde gerçekleşen plantar fleksiyon ve dorsifleksiyon hareketleri, yürüme döngüsünün sürekliliği açısından belirleyici rol oynar.



Plantar Fleksiyon **Dorsifleksiyon**

Plantar fleksiyon, yürümenin itme fazında vücut ağırlığının zemine etkin şekilde aktarılmasını sağlar. Dorsifleksiyon ise ayağın yerden yeterli açıklık kazanmasına katkı sağlayarak hareketin akıcı şekilde devam etmesini mümkün kılar.

zoom Workplace Toplantı Ali Jafarov adlı kişinin ekranı Görüntüle Giriş yapın

Coordinator Şe... Ali Jafarov ceyhun_YÜCEL_HALL-2 DOÇ. DR. HASAN ÇİFTÇİ Mina Çolak

Coordinator Şemim Ze... Ayşegül Yılmaz

Freshwater Scarcity

The Critical Challenge for the Caspian Region

Global Urgency

Freshwater scarcity is one of the most pressing global challenges today, affecting billions of people worldwide and threatening sustainable development.

Coastal Paradox

Many arid coastal regions suffer from severe water shortages despite being located next to vast water, primarily due to lack of efficient desalination infrastructure.

The Caspian Sea Context

Holds an enormous volume of water, but its high salinity renders it unusable for drinking or agriculture without advanced treatment.

zoom Workplace

Toplantı

H-5 Hakan Bağ adlı kişinin ekranı

Kayıt Görüntüle Giriş yapın

Coordinator Şe... H-5 Hakan Bağ H-5 OYA ÖZELGÜRBÜZ HALL-5-O: Atakan Gür... MEETCON Yusuf Can H-5 Gülden GÖK

Kongre sunum.pdf + Oluştur

Tüm araçlar Düzenle Dönüştür E-imza

Metin veya araç bul

Paylaş

Siringik asit - Etkileri

COc1cc(O)c(C(=O)O)cc1OC

- Siringik asit özellikle düşük toksisite profiliyle geniş bir tedavi potansiyeli sahiptir (Cao et al., 2016; Rashedinia et al., 2021).
- Siringik asit çeşitli fonksiyonel gruplar içeren fenolik çekirdeğinden dolayı güçlü antioksidan özelliklerine sahiptir (Ji et al., 2019; Shimsa et al., 2024).
- Siringik asit 4. karbonunda bulunan hidroksil grubundan dolayı hidroksil radikalini (HO•) süpürme aktivitesi oldukça yüksektir (Vo et al., 2020).
- Siringik asidin in vivo ve in vitro çalışmalarında güçlü bir antioksidan olarak kullanıldığı malondialdehit (MDA) düzeyini düşürerek GSH düzeyi ile GSH-Px, KAT, SOD gibi antioksidan aktivitelerini arttırdığı ve oksidatif strese karşı hücrel savunmayı düzenleyen transkripsiyon faktörü olan Nükleer Faktör Eritroid 2 ile ilişkili Faktör 2'nin ekspresyonu ve nükleer translokasyonu artırdığı bildirilmiştir (Cikman et al., 2015; Haneef & Chadha, 2018; Ji et al., 2019; Li et al., 2019; Liu et al., 2024; Sabahi et al., 2020)

Düşük Toksikite Profili Fenolik Çekirdek ve 4-C-OH Grubu Hidroksil Radikali (HO•) Süpürücü Etkisi

Nrf2 Transkripsiyon Faktörü Lipit Peroksidasyonu MDA

GSH, SOD, CAT

Ses Video

Katılımcılar Sohbet Tepki ver Paylaş Toplantı bilgileri Ara odalar Daha fazla Odadan çık

zoom Workplace

Toplantı

Elnur Shafizadeh adlı kişinin ekranı

Görüntüle Giriş yapın

Coordinator Şe... Elnur Shafizadeh H-4 Musa YILMAZ Doç. Dr. HASAN ÇİFTÇİ HALL-4 Mehriban Aliye... Пользователь Zoom

Social and Economic Dimensions of ESG Integration in Green Economy

Post-COP29 Perspectives from Azerbaijan

Elnur Shafizadeh

Azerbaijan State University of Economics

Baku, Azerbaijan

INTERNATIONAL CONFERENCE NETWORK

REF: Akademik Teşvik

10.02.2026

İLGİLİ MAKAMA

MEETCON-BAKÜ ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ 27-30 OCAK 2026, tarihleri arasında **BAKÜ-AZERBAYCAN** 'de online olarak 5 farklı ülkeden (**Türkiye:10** ve **Diğer Ülkeler: 24; Toplam: 34**) akademisyen/araştırmacıların katılımı ile gerçekleşmiştir. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen 'Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurtdışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışından en az 5 ülkeden farklı tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır. ' değişikliğine uygun düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz edilir. Saygılarımla.



Assoc. Prof. Dr. Hasan ÇİFTÇİ
Head Of MeetCon Conference



INTERNATIONAL CONFERENCE NETWORK



T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Pazarlama ve Reklamcılık Bölüm Başkanlığı
Halkla İlişkiler ve Tanıtım Program Başkanlığı

Sayı : E-26507229-209-527458
Konu : Görevlendirme

12.12.2025

Syn, Esra Nur AKPINAR

27-30 KASIM 2025 tarihleri arasında MeetCon Conference tarafından **BAKU-AZERBAIJAN'DA** Online ve Yüz yüze düzenlenecek olan **“MEETCON – BAKU INTERNATIONAL CONGRESS OF APPLIEDSCIENCES”** kongrelerinde Düzenleme Kurulu Üyesi ve Akademisyen Temsilci olarak görev almasının uygun olduğu konusunda, Gereğini arz ederim.
Kongre web sayfası: www.meetcon.org

Dr. Öğr. Üyesi M. Nedim AĞAÇKESEN
MYO Müdürü

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

NOTIFICATIONS

AUTHORS	TITLE	NO
Cuma AKBAY Hamdi AYYILDIZ	THE IMPACT OF INCOME DISPARITIES ON FOOD CONSUMPTION PATTERNS IN TURKEY: A HOUSEHOLD-LEVEL ANALYSIS	1
Cuma AKBAY Hüseyn DİKİCİ	HEAVY METAL POLLUTION IN AGRICULTURAL SOIL SURROUNDING THE LIGNITE-FIRED THERMAL POWER PLANT	10
Prof. Dr. Yaşar AYAZ Prof. Dr. Hakan YALÇINER Assoc.Prof.Dr.Atila KUMBASAROĞLU	THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF RAW PERLITE AGGREGATE CONCRETE	20
Aytac ƏZİMOVA	FORENSIC DNA ANALYSIS AND IDENTIFICATION OF A DECEASED PERSON	26
Narmin TANARVERDİYEVA MUSHFİQ Sevinj MAHARRAMOVA TELMAN	SEVERE COMBINED IMMUNODEFICIENCY (SCID) AND THE CASE OF DAVID PHILLIP VETTER "BUBBLE BOY"	29
Sara ABBASZADE Ayaz MAMMADOV Saida AHMADBAYOVA Rufana ALİZADE Sevda Asadova	THE CORROSION INHIBITION EFFECT OF NITRO PRODUCT-ETHANOLAMINE COMPLEXES DERIVED FROM THE LIGHT FRACTION OF COKING IN AN H ₂ S ENVIRONMENT	31
Dr.SC.prof. Eldar MAMMADBAYLI Vafa BABAYEVA Narmin MAMMADOVA Samira İSMAYILOVA Kamila HASANOVA	EFFECT OF IMIDAZOLINE BROMIDE COMPLEX BASED ON NORBORN-5-ENE-2- CARBOXYLIC ACID AGAINST H ₂ S CORROSION	33
Assoc. Prof.QOCAYEVA ELMİRA MEHEMMED Assoc. Prof. İBRAHİMOVA SADAQAT VELİ	PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MODERN INDUSTRIAL PRODUCTION	35
Ömer Faruk ÇİÇEK Assoc. Prof. Dr. Yaşar AYAZ	INVESTIGATION OF THE EFFECT OF POLYUREA THICKNESS ON THE BALLISTIC PERFORMANCE OF POLYMER/METAL COMPOSITE ARMOR USING THE FINITE ELEMENT METHOD	37
Ömer Faruk ÇİÇEK Assoc. Prof. Dr. Yaşar AYAZ	THE EFFECT OF POLYUREA LAYER POSITION ON BALLISTIC PROTECTION PERFORMANCE IN HYBRID ARMOR SYSTEMS: A NUMERICAL APPROACH	45
Asst. Prof. Dr. Musa YILMAZ	THE EFFECT OF THERMAL SURFACE TREATMENT AT DIFFERENT TEMPERATURES ON SURFACE OXIDATION AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF METAL WIRE	56
Ali JAFAROV	SOLAR THERMAL DESALINATION EFFICIENCY WITH PHASE CHANGE MATERIALS AND NANOFLUID COLLECTORS:ENERGY-STORAGE STRATEGİES FOR CASPIAN SEA WATER	58
Doç.Namiq MURADOV Çərkəz ƏHMƏDLİ	COMPENSATION OF DYNAMIC ERRORS IN HIGH-SPEED MEASURING CHANNELS	59
Zulfiyya ISMAYIL	COGNITIVE ASPECTS OF DERIVATOLOGY IN THE AZERBAIJANI LANGUAGE	60

AUTHORS	TITLE	NO
Sevil NAMAZOVA Aysel ASLANLI	CONVERSION OF LOW-MOLECULAR-WEIGHT HYDROCARBONS USING ZEOLITE-SUPPORTED MICROBIAL BIOCATALYSTS ISOLATED FROM OIL-CONTAMINATED SITES IN BAKU, AZERBAIJAN	62
Lect. Oya ÖZEL GÜRBÜZ	ALTERNATIVE RAW MATERIAL FOR ENERGY: WASTE AND BIOMASS	63
Assist. Prof. Orhan Atakan GÜRBÜZ Assoc. Prof. Gülden GÖK	THE ROLE OF ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	71
Assist. Prof. Ceyhun YÜCEL	NUTRITIONAL VALUE OF CORN SILAGE IN RUMINANT NUTRITION:IMPLICATIONS FOR ANIMAL PERFORMANCE AND SUSTAINABILITY	82
Izzet PIRIYEV Assoc. Prof. Akif KHIDIROV	ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING SIGNAL QUALITY IN REMOTE ECG MONITORING SYSTEMS	92
Esmira GASIMZADE	INVESTIGATION OF CELLULOSE-DEGRADING MICROORGANISMS IN THE UPPER REACHES OF THE QUDYALCHAY RIVER	93
Hakan BAĞ Prof. Dr. Seval YILMAZ	THE PROTECTIVE EFFECT OF SYRINGIC ACID AGAINST ACRYLAMIDE TOXICITY	94
Assoc.Prof. Atif NOVRUZOV Assoc.Prof. Sevda Binyat MAMEDOVA Atif Tural AKBARZADE	FACTORS IN THE FORMATION OF MANAGEMENT SYSTEMS FOR OIL AND GAS ENTERPRISES IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION	109
Prof. Safar Purhani Assoc.Prof. Sevda Binyat MAMEDOVA Aliyeva Vusalya Safar	THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN BUSINESS: CURRENT STATUS AND PROSPECTS IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION	111
Firuze ABDULLAZADE	ENERGY-AWARE HASH FUNCTION DESIGN FOR BATTERY-CONSTRAINED DEVICES	112
Firuze ABDULLAZADE	APPLICATION OF HASHING ALGORITHMS FOR USER AUTHENTICATION IN BRAIN-COMPUTER INTERFACE SYSTEMS	119
Assoc. Prof. Dr. Hamid ASADI DERESHGI Neziha ÇILLI Mina COLAK Buse Ayse Gul YILMAZ Bahadır SENTURK	A BIOMECHANICAL PERSPECTIVE ON PORTABLE FOOT AND ANKLE REHABILITATION TECHNOLOGY	127
Revan KERIMOV	THE USAGE OF ZERO-TRUST ARCHITECTURE IN CLOUD SECURITY	129
Assoc. Prof. Akif KHIDIROV Sitara SULEYMANOVA	INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING THE CONDITION OF OIL RIG STRUCTURES USING PIEZOELECTRIC SENSORS	135

AUTHORS	TITLE	NO
Əfqan ƏBULFAZ OĞLU MUSAYEV	ANALYSIS OF THE SITUATION OF INTERNATIONAL FINANCIAL CENTERS IN 2020-2025 EASTERN COUNTRIES	136
Mehriban ALIYEVA	FEMINISM IN HISTORY AND LITERATURE: FROM LEGAL EMANCIPATION TO THE PROBLEM OF IDENTITY	141
Siddiqe HACIYEVA	THE CONCEPT OF VISUAL INTEGRITY IN VISUAL ART	146
Assoc. Prof. Cavid İSMAYILOV	THE PROBLEM OF COMPOSITION AND AESTHETIC INTEGRITY IN PAINTING	148
Assoc.Prof.Dr. Javadkhan QASIMOV Jafarova Narmin Tavakkul gizi	ISSUES OF INCREASING AND REGULATING THE LEVEL OF EMPLOYMENT IN THE CONDITIONS OF NEW ECONOMIC REALITIES	150
Solmaz İlham MEMMEDOVA	THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SMALL BUSINESS DEVELOPMENT STRATEGY: CURRENT STATUS AND PROSPECTS	159

THE IMPACT OF INCOME DISPARITIES ON FOOD CONSUMPTION PATTERNS IN TÜRKİYE: A HOUSEHOLD-LEVEL ANALYSIS

Cuma AKBAY

Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Agricultural Faculty, Department of Agricultural
Economics, Kahramanmaraş, Türkiye

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7673-7584>

Hamdi AYYILDIZ

Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Health Vocational School, Department of Medical
Techniques and Services, 0000-0001-6280-7182

ABSTRACT

The aim of this study is to examine the level and structure of food expenditures of households in Türkiye according to income groups and to reveal the effects of income growth on food consumption behaviors. In the study, households were divided into five income groups; both the absolute level of total food expenditures and expenditures on food subgroups were analyzed, as well as their proportions within total expenditures. One-way analysis of variance (ANOVA) was used to test whether the differences between income groups were statistically significant. The findings show that as income level increases, the absolute total food expenditures of households increase, while the share of food expenditures within total expenditures decreases significantly. This result confirms the validity of Engel's Law for the Turkish case. Analyses conducted by food subgroups reveal that basic and essential food products have a higher weight in low-income households; and that the share of meat and meat products and out-of-home food expenditures increases with income growth. The research results show that in addition to the quantity of food expenditure, the increase in income will also change the quality of nutrition patterns, which has a significant impact on food security and nutrition policies.

Key Words: Food Consumption; Income Disparities; Household Data; Türkiye

INTRODUCTION

Household food expenditure is one of the most informative consumption indicators reflecting well-being, living standards, and nutritional quality. For decades, the relationship between income and food expenditure has been a central topic in economic research. The theoretical foundation of this relationship is provided by Engel's Law, which states that as income rises, the share of food expenditure in total household expenditure declines, even if absolute food spending increases (Engel, 1857). This regularity has been widely confirmed across countries and time periods and is generally interpreted as evidence that food is a basic necessity, while rising income enables households to allocate a larger share of their budget to non-food goods and services and to improve diet quality.

Early empirical studies for Türkiye confirm the strong explanatory power of Engel-type models in capturing food budget shares (Tansel, 1986), while subsequent demand-system analyses show that expenditure elasticities differ substantially across food groups, with meat and meat products exhibiting particularly high responsiveness to income growth (Akbay et al., 2007 and 2008; Armagan & Akbay, 2008; Akbay & Bilgiç, 2011; Bilgiç and Yen, 2013 and 2014; Aytıp et al., 2015). These findings suggest that income growth not only affects the level

of food expenditure but also reshapes its internal composition. Therefore, understanding food consumption behavior requires examining not only total food spending, but also how expenditures are distributed across different food categories.

In low-income households, basic and essential food products account for a relatively large share of the food budget, reflecting both necessity and budget constraints. As income increases, spending shifts toward animal-based products, processed foods, and food away from home (FAFH), indicating a process of dietary diversification. While this transformation is often associated with improved living standards, it also raises important concerns related to nutrition, health outcomes, obesity, and food security. In Türkiye, rising food prices, persistent income inequality, and increasing pressure on household budgets make the analysis of food expenditures by income group particularly relevant. For low-income households, food expenditures absorb a substantial portion of total resources, limiting the capacity to spend on other essential needs, whereas for high-income households the relative importance of food declines despite higher absolute spending.

From a policy perspective, income growth typically increases absolute food expenditures while reducing their budget share; however, the more relevant question is how dietary structures evolve under changing economic conditions. International evidence shows that inflationary pressures and distributional dynamics can amplify or dampen dietary transformation. Food price surges tend to worsen inequality because low-income households, with higher food budget shares, are more exposed to food inflation, while high-income households are better able to absorb price shocks (Marson & Saccone, 2025). As a result, nutritional disparities between income groups may widen even when overall food spending increases.

A growing strand of the literature emphasizes the affordability of healthy diets as a core dimension of food security. Recent studies demonstrate that cost and affordability indicators are sensitive to methodological choices and that conventional poverty measures may underestimate deprivation when nutritionally adequate diets are unaffordable (Headey et al., 2024; Stehl et al., 2025). In parallel, country-level monitoring systems based on routine price data increasingly link income dispersion, inflation, and diet quality in policy design (Herforth et al., 2024). These approaches provide an important conceptual framework for interpreting income-related differences in food consumption in Türkiye.

Finally, research on structural demand change and FAFH consumption offers a mechanism-based explanation for income-related shifts in food patterns. FAFH expenditures tend to rise with income due to time constraints, lifestyle changes, and socio-demographic factors, and are increasingly associated with nutritional risks and health outcomes rather than lifestyle preferences alone (Koomson et al., 2025; Strupat et al., 2021; Akbay, 2025a). Turkish evidence similarly shows that FAFH consumption increases with income and varies across household profiles, age groups, and income quantiles (Bozoğlu et al., 2013; Aykaç, 2018; Şengül & Sigeze, 2023;). Recent national data further confirm that food-at-home expenditure shares decline while FAFH shares increase with income, highlighting the vulnerability of low-income households that devote a disproportionately large share of their budgets to essential food expenditures (Akbay & Ayyıldız, 2025; Baez et al., 2021).

Against this background, the main objective of this study is to analyze the level and structure of household food expenditures in Türkiye by income group. Specifically, the study examines (i) how the share of food expenditures in total household expenditures varies across income groups, (ii) differences in the absolute level of expenditures across food subgroups, and (iii) changes in the proportional distribution of food expenditures. By combining descriptive analysis with income-based comparisons, the study aims to contribute to the literature on food

consumption, inequality, and nutrition, while offering policy-relevant insights for food and social policy design in Türkiye.

MATERIAL AND METHODS

Microdata from the 2023 Household Budget Survey (HBS) of the Turkish Institute of Statistics (TÜİK) provides information on household income and consumption patterns across Türkiye. The survey is designed to be representative of Türkiye and contains detailed information on household income levels, consumption expenditures, and socio-economic characteristics. In this study, the analyses were conducted using a household sample consisting of valid and complete observations for the relevant year. Households were divided into five income groups according to their total monthly income levels. This grouping was done to more clearly reveal the reflections of differences in income distribution on food expenditures. Income groups are referred to as "income groups" in the analysis and findings section of the study; the sampling and classification approach was addressed within the framework of income strata in the methodological context. The main variables used in the study consist of total household income, total expenditure, and indicators related to food expenditures. Total food expenditures were analyzed through both absolute values (TL/month) and ratio indicators. Food expenditures were examined in twelve subgroups. These groups are: Breads and grains, meat and meat products, milk and dairy products, eggs, cooking oils, fruits, vegetables, sugar and sugary products, processed foods, non-alcoholic beverages, spices and other foods, and out-of-home food expenditures. One-way ANOVA tests were used for comparisons by income groups.

RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 shows the levels of total income, total expenditure, and total food expenditure of households by income group, and the share of food expenditure in the budget. The findings reveal that as income level increases, both total expenditure and total food expenditure of households increase in absolute terms. While the average monthly food expenditure is 3,489 TL in the lowest income group, this amount reaches 9,126 TL in the highest income group.

In contrast, the share of food expenditure in total expenditure decreases significantly with increasing income. While the share of food expenditure in total expenditure is 43.15% in the lowest income group, this rate gradually decreases in middle income groups and falls to 24.35% in the highest income group (Table 1 and Figure 1). This result shows that Engel's Law is strongly applicable to the Turkish case.

Furthermore, the fact that total expenditure exceeds total income in the low-income group (112.71%) suggests that these households cannot save and maintain their consumption through borrowing or dissolving their savings. In contrast, a decrease in the ratio of total expenditures to income among high-income groups indicates a stronger fiscal balance. This clearly shows that food expenditures create significant welfare pressure on low-income households.

Table 1. Household food expenditures and their ratio to total expenditures by income group

Income Groups	Household income (TL/ Month)	Household expenditure (TL/Month)	Total food expenditure (TL/Month)	Total expenditure share of income (%)	Food expenditure share of total expenditures (%)
1 st Income Group	8080,1	8765,8	3489,0	112,71	43,15
2 nd Income Group	14587,4	14703,6	4906,1	101,15	36,04
3 rd Income Group	21141,3	20273,5	5623,8	96,00	31,33
4 th Income Group	30539,1	27528,1	6691,4	90,57	28,30
5 th Income Group	61170,7	46514,8	9126,7	80,26	24,35
Average	27102,3	23556,4	5967,3	96,14	32,63

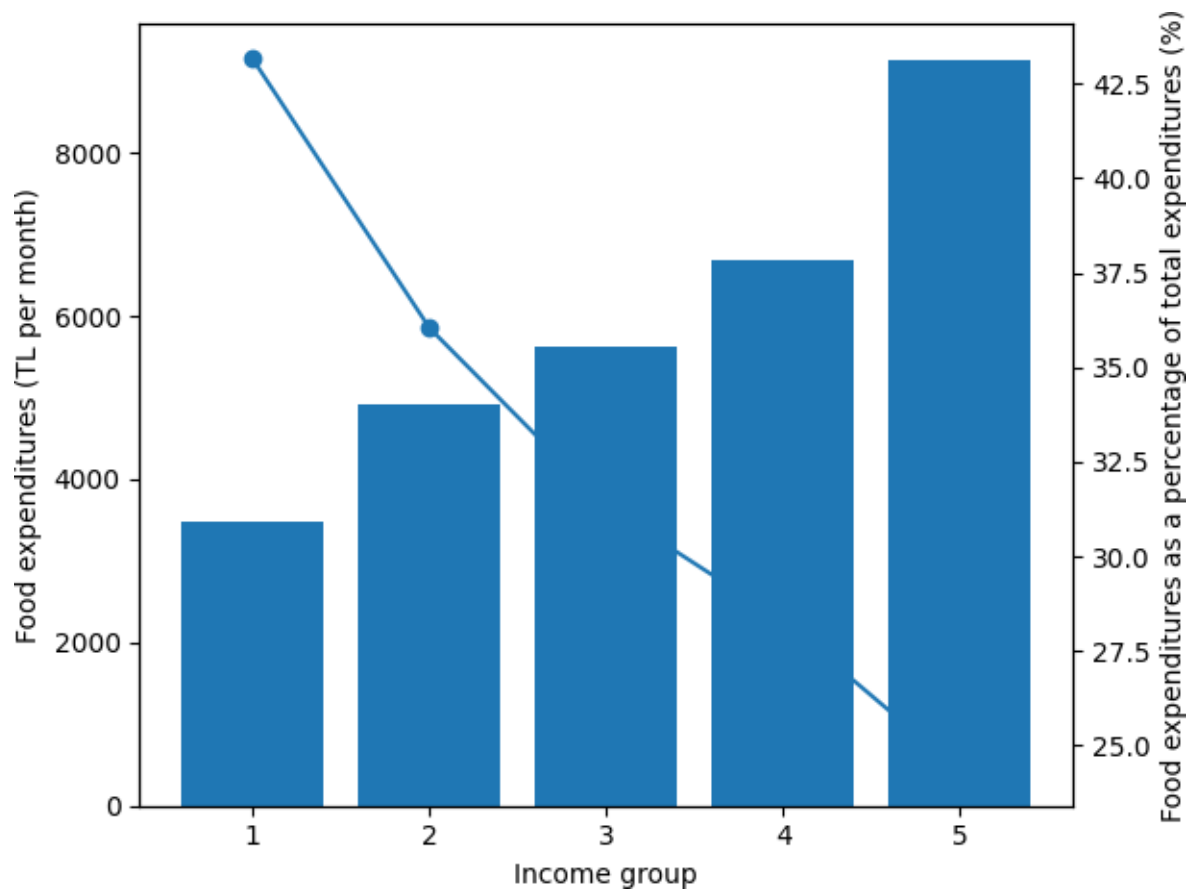


Figure 1: Household Food Expenditure and Shares by Income Group

Table 2 shows how much different groups of people with different income levels spend on different types of food each month. The results showed that as income increased ($p < 0.01$), the level of expenditure in all food categories increased significantly at the same time. This

increase is particularly pronounced in meat and meat products, milk and dairy products, fruit, and out-of-home food expenditures.

For example, meat and meat product expenditure is 555 TL in the lowest income group, while it increases approximately fourfold to 1,989 TL in the highest income group. Similarly, out-of-home food expenditure is one of the items where the sharpest differentiation is observed among income groups. Out-of-home food expenditure, which is 162 TL in the lowest income group, rises to 1,861 TL in the highest income group.

These findings show that income increase transforms not only the quantity of food consumption but also the consumption pattern. High-income households can allocate more resources to more expensive food products and out-of-home consumption. In contrast, food consumption for low-income households is mostly limited to household and essential food products.

Table 2. Household expenditures on food subgroups (TL/Month)

	First Income Quintile	Second Income Quintile	Third Income Quintile	Fourth Income Quintile	Fifth Income Quintile	Average	F-test (P-value)
Grains	659,9	866,2	945,0	987,2	1099,9	911,6	130,36 (0,000)
Meat and meat products	555,2	902,9	1015,9	1351,7	1988,7	1162,9	77,85 (0,000)
Milk and dairy products	399,4	544,2	618,0	684,7	779,9	605,3	149,68 (0,000)
Eggs	109,7	138,3	148,1	157,6	176,3	146,0	85,95 (0,000)
Cooking oils	215,4	255,3	279,5	302,5	326,4	275,8	13,45 (0,000)
Fruits	307,4	425,5	501,3	569,0	716,8	504,0	230,22 (0,000)
Vegetables	613,0	781,4	823,0	898,9	972,8	817,8	67,65 (0,000)
Sugar and sugary products	215,3	285,8	324,7	352,9	449,3	325,6	113,21 (0,000)
Processed foods	17,9	30,3	41,3	61,2	112,9	52,7	35,83 (0,000)
Non-alcoholic beverages	184,2	270,7	336,3	408,5	520,0	344,0	96,17 (0,000)
Spices and other foods	48,8	83,2	92,1	110,6	123,0	91,5	48,86 (0,000)
FAFH	162,6	322,2	498,5	806,6	1860,7	730,1	364,82 (0,000)
Total	3489,0	4906,1	5623,8	6691,4	9126,7	5967,3	520,50 (0,000)

Table 3 shows the proportions of food expenditures within total food expenditures by subgroup. The results reveal a significant transformation in the food consumption pattern depending on income level. While the share of basic food groups such as cereals, vegetables, cooking oils, and eggs decreases as income increases, the share of meat and meat products and out-of-home food expenditures increases.

For example, the share of cereals in total food expenditures is 20.75% in the lowest income group, while it falls to 13.83% in the highest income group. Similarly, the share of vegetables decreases from 18.68% to 11.92%. In contrast, the share of out-of-home food expenditures is 4.53% in the low-income group, while it rises to 19.51% in the highest income group.

This structural change indicates that nutrition in low-income groups is more based on essential and energy-based foods; while in high-income groups, a more diversified, animal protein-heavy diet that includes consumption outside the home is dominant. The findings reveal that income growth increases the quality and variety of nutrition, but also brings about new health and policy debates regarding out-of-home food consumption.

Table 3. Household food subgroup expenditure rates (%)

	First Income Quintile	Second Income Quintile	Third Income Quintile	Fourth Income Quintile	Fifth Income Quintile	Average	F-test (P-value)
Grains	20,75	19,25	18,35	16,46	13,83	17,73	161,82 (0,000)
Meat and meat products	11,28	13,28	13,32	15,22	16,41	13,90	37,56 (0,000)
Milk and dairy products	12,29	11,94	11,69	10,95	9,63	11,30	41,18 (0,000)
Eggs	3,77	3,33	2,97	2,75	2,33	3,03	74,91 (0,000)
Cooking oils	5,87	5,20	4,89	4,33	3,55	4,77	40,72 (0,000)
Fruits	9,38	9,34	9,36	9,14	8,65	9,17	4,48 (0,001)
Vegetables	18,68	16,79	15,26	14,34	11,92	15,40	168,07 (0,000)
Sugar and sugary products	6,00	5,92	5,80	5,48	5,21	5,68	8,22 (0,000)
Processed foods	0,47	0,73	0,80	1,02	1,20	0,85	39,34 (0,000)
Non-alcoholic beverages	5,57	6,01	6,42	6,31	6,19	6,10	9,76 (0,000)
Spices and other foods	1,42	1,80	1,71	1,80	1,56	1,66	5,33 (0,000)
FAFH	4,53	6,41	9,42	12,19	19,51	10,41	347,11 (0,000)
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

These findings confirm the classical view of food as a basic necessity, whereby its share in the household budget declines as purchasing power increases, a result that has been repeatedly documented for Türkiye using Engel-curve and demand-system approaches (Tansel, 1986; Akbay et al., 2007; Aykaç, 2018). The decline in food expenditure shares observed across income groups in this study is therefore fully consistent with the existing literature. At the same time, the evidence that low-income households allocate a disproportionately large share of their total expenditures to food indicates that high food shares reflect vulnerability rather than preference. In line with recent studies, this implies greater exposure of low-income households to food price shocks and inflationary pressures, particularly in periods of economic instability (Baez et al., 2021; Marson & Saccone, 2025).

Beyond expenditure shares, the subgroup analysis reveals a clear structural transformation in food consumption patterns as income rises. Consistent with the dietary diversity literature, higher income levels are associated with a gradual shift away from staple and energy-dense foods toward more diverse and higher-value food groups, including animal-based products and food consumed away from home (Mohammad & Akbay, 2020; Demirdöğen et al., 2022; Bouyssou et al., 2023; Headey et al., 2024; Akbay, 2025a; Akbay, 2025b). The strong income gradient observed in food away from home (FAFH) consumption in this study closely mirrors recent evidence from Türkiye and other countries, which links FAFH growth to income, lifestyle changes, time constraints, and socio-demographic characteristics (Bozoğlu et al., 2013; Ahmed, 2023; Şengül & Sigeze, 2023; Akbay & Ayyıldız, 2025; Koomson et al., 2025). Importantly, the literature suggests that FAFH carries heterogeneous welfare implications: while higher FAFH shares among high-income households may reflect convenience and service-oriented consumption, low FAFH shares among low-income households coexist with high food budget pressure and constrained food environments, reinforcing the need for distribution-sensitive interpretation.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

This study examines the level and structure of food expenditures of households in Türkiye by income groups, revealing the effects of income growth on food consumption behaviors. The findings show that as income levels rise, the total food expenditures of households increase in absolute terms; however, the share of food expenditures in total expenditures decreases significantly. This result confirms the validity of Engel's Law for the Turkish case and is consistent with previous national and international studies.

The study makes a significant contribution by focusing not only on the total level of food expenditures but also on their distribution by sub-food groups. The findings reveal that in low-income households, food consumption is mostly based on essential and energy-based products; and that with income growth, animal products, fruits, and out-of-home food consumption gain prominence. In particular, the rapid increase in out-of-home food expenditures in high-income groups indicates a significant transformation in lifestyle and consumption habits along with income.

From a policy perspective, the high burden of food expenditures on the total budget in low-income groups reveals that these households are in a vulnerable position in terms of nutritional quality and food security. In this context, it can be said that targeted food support and nutrition-focused social transfers for low-income households are important, as well as social policy tools aimed at reducing income inequality. In particular, support programs aimed at increasing the consumption of animal protein and fresh fruits and vegetables can contribute to reducing nutritional deficiencies. Conversely, the increase in out-of-home food consumption among high-income groups indicates that food and nutrition policies should be addressed not only in-home consumption but also the food services sector. The increase in out-of-home food consumption is closely related to issues such as obesity, unhealthy eating, and food waste, and regulatory and guiding policies are needed in these areas. Menu labeling practices, nutritional information, and the promotion of healthy food options can be evaluated in this context.

Finally, this study also has some limitations. The analysis is based on expenditure data and does not provide direct information about the quantity and nutritional content of the food consumed. In future studies, food expenditures should be considered together with consumption quantities, nutritional value, and health indicators; Furthermore, using demand

system models to estimate income and price elasticities will enable the development of more comprehensive policy recommendations.

ACKNOWLEDGEMENT: We would like to thank the Turkish Statistical Institute (TURKSTAT) for providing the data and the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TUBITAK- 224K029) for their support.

REFERENCES

- Ahmed, M. R. (2023). Household consumption expenditure behaviour towards outside ready-made food: Evidence from Bangladesh. *Heliyon*, 9(9), e19793. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19793>
- Akbay, C. (2025a). Socio-demographic determinants of household meat consumption in turkiye: aplication of heckman two stage model. 9. International Congress On Contemporary Scientific Research, Congress On Contemporary Scientific Research November 8-12, 2025, Dubai, Uae Conference Proceedings Book, Liberty Academic Publishers, Isbn: 979-8-89695-242-8, Page: 274-285.
- Akbay, C. (2025b). Analyzing dairy product demand in Türkiye: the role of sociodemographic factors via a Heckman model, 5th International Paris congress on applied sciences, August 4-8, 2025– Paris, France, Proceedings book, Isbn no: 979-8- 89695-156-8, Liberty publishing house, Water street corridor New York, NY 10038.
- Akbay, C., & Ayyıldız, H. (2025). Analysis of household food consumption behavior in Türkiye in the context of at-home and out-of-home food demand. *AgriTR Science*, 7(2), 41–49.
- Akbay, C., & Bilgiç, A. (2011). Türkiye’de 2003-2008 dönemlerinde tüketim harcamaları ile gıda harcamalarında meydana gelen değişimler. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 17(1 ve 2), 73-79.
- Akbay, C., Bilgiç, A., & Paksoy, M. (2024). Analysis of factors affecting household food consumption away from home in Türkiye. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 27(Ek Sayı 2), 493–507. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.1458676>
- Akbay, C., Bilgic, A. & Miran, B. (2008). Demand estimation for basic food products in Turkey. *Turkish Journal of Agricultural Economics*, 14(2): 55-65.
- Akbay, C., Boz, I. & Chern, W. S. (2007). Household food consumption in Turkey. *European Review of Agricultural Economics*, 34(2), 209–231. <https://doi.org/10.1093/erae/jbm011>
- Arırmagan, G. & Akbay, C. (2008). An econometric analysis of urban households' animal products consumption in Turkey. *Applied Economics*, 40(15): 2025-2032.
- Aykaç, G. (2018). Engel Yasası’nın Türkiye sınaması ve gıda talebinin gelir esnekliği: Gıda harcamalarının bütçe payının hane profili ve toplam harcama ile ilişkisi (2003–2013). *Sosyoekonomi*, 26(38), 105–133. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2018.04.07>
- Aytop, Y., Akbay, C., & Dağ, M. M. (2025). Determination of Household Expenditure for Edible Oils and Fats in Türkiye. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 12(4), 1175-1185.
- Baez Ramirez, J. E., Inan, O. K., & Nebiler, M. (2021). Getting real? The uneven burden of inflation across households in Turkey (Policy Research Working Paper No. 9869). World Bank.

- Bilgiç, A., & Yen, S. T. (2013). Household food demand in Turkey: A two-step demand system approach. *Food Policy*, 43, 267–277. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.09.004>
- Bilgiç, A. & Yen, S.T. (2014). Demand for meat and dairy products by Turkish households: A Bayesian Censored System Approach. *Agricultural Economics*, 45(2): 117-127.
- Bouyssou, C. G., Jensen, J. D., & Yu, W. (2024). Food for thought: A meta-analysis of animal food demand elasticities across world regions. *Food Policy*, 122, 102581. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102581>
- Bozoğlu, M., Bilgiç, A., Yen, S. T., & Huang, C. L. (2013). Household food expenditures at home and away from home in Turkey. *Agricultural and Applied Economics Association (AAEA) Annual Meeting*, Washington, DC, August 4-6. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.149737>
- Demirdöğen, A., Olhan, E., & Aykaç, G. (2022). Inequality in food consumption and diet diversity: Evidence from Turkey. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(1), 328–359. <https://doi.org/10.26745/ahbvuibfd.1005377>
- Engel, E. (1857). Die Produktions- und Consumtionsverhältnisse des Königreichs Sachsen. *Zeitschrift des Statistischen Bureaus des Königlich Sächsischen Ministeriums des Innern*.
- Headey, D., Hirvonen, K., & Alderman, H. (2024). Estimating the cost and affordability of healthy diets: How much do methods matter? *Food Policy*, 126, 102654. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2024.102654>
- Herforth, A. W., Gilbert, R., Sokourenko, K., Fatima, T., Adeyemi, O., Alemayehu, D., ... Masters, W. A. (2024). Monitoring the cost and affordability of a healthy diet within countries: Building systems in Ethiopia, Ghana, Malawi, Nigeria, Pakistan, Tanzania, and Viet Nam. *Current Developments in Nutrition*, 8(10), 104441. <https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2024.104441>
- Koomson, I., Martey, E., & Temoso, O. (2025). Employment-related time poverty, time stress and food away from home behaviour: Panel evidence from Australia. *Appetite*, 204, 107734. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2024.107734>
- Marson, M., & Saccone, D. (2025). The effect of food price upsurges on income inequality: The richest win and the poorest lose. *Food Policy*, 131, 102830. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2025.102830>
- Mohammad, M. J., & Akbay, C. (2020). An Econometric Analysis of Urban Households' Meat Consumption in Erbil-Iraq. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 65-73.
- Stehl, J., Depenbusch, L., & Vollmer, S. (2025). Global poverty and the cost of a healthy diet. *Food Policy*, 132, 102849. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2025.102849>
- Strupat, C., Farfán, G., Moritz, L., Negre, M., & Vakis, R. (2021). Obesity and food away from home: What drives the socioeconomic gradient in excess body weight? *Economics & Human Biology*, 43, 101048. <https://doi.org/10.1016/j.ehb.2021.101048>
- Şengül, S., & Sigeze, Ç. (2023). A cohort analysis of food expenditure away from home in Turkey. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6, 121–139. <https://doi.org/10.47495/okufbed.1094441>
- Tansel, A. (1986). An Engel curve analysis of household expenditure in Turkey, 1978–79. *METU Studies in Development*, 13(3–4), 239–257.

HEAVY METAL POLLUTION IN AGRICULTURAL SOIL SURROUNDING THE LIGNITE-FIRED THERMAL POWER PLANT

Cuma AKBAY

Kahramanmaraş Sütcü Imam University, Agricultural Faculty, Department of Agricultural Economics, Kahramanmaraş, Türkiye

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7673-7584>

Hüseyin DİKİCİ

Kahramanmaraş Sütcü Imam University, Agricultural Faculty, Department of Soil and Plant Nutrition, Kahramanmaraş, Türkiye

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1335-4380>

ABSTRACT

The objectives of this study were to determine the distribution of heavy metal in agricultural soil and environmental pollution caused by the Afşin-Elbistan Thermal Power Plant (TPP) in Türkiye. Soil samples were collected from fields around the TPP and with a distance from them in the dominant wind direction to determine their effect on the environment. Soil samples were grouped based on their distance from the TPP, and analysis of variance and Duncan's multiple comparison test were performed among groups for the measured pollution parameters. The results indicated that among the measured parameters, total uranium and plant available SO₄-S concentrations were higher near the TPP and decreased with a distance from them. Total Cr and Ni concentrations of the samples were generally higher than critical levels of the Soil Pollution Control Regulation, but high levels were found to be parent material related. The levels of DTPA extractable micronutrients and heavy metals were not high enough to cause toxicity or yield loss. Plant uptake of some measured parameters was high but not high enough to result in yield loss. Although pollution levels in the soils were not high enough to cause yield reductions, wind-blown materials from ash deposits and fly ashes with high S, heavy metals, and high pH properties emitting from the TPP may cause yield reductions especially if they fall down on sensitive crops and plant parts such as flowers.

Key words: Heavy metal, fly ash, thermal power, soil, pollution, Türkiye

1.

INTRODUCTION

Thermal power plants that use coal and lignite provide an important part of world electricity production. About 80% of Türkiye's electric energy production is provided by thermal power plants using fossil fuels. Electricity production in Türkiye is mainly generated by natural gas (35.1%), hydropower (19.4%), coal and lignite (36.0%). The contribution of geothermal, wind, solar and other renewable energies for electricity production, on the other hand, is quite low (TEIAS, 2020; Enerjatlasi, 2020).

Total lignite reserves of Türkiye is 8.26 billion tones, of which 3.25 billion tones (40%) are located in the Afsin-Elbistan lignite basin in Kahramanmaraş. These lignite reserves are mainly used in thermic power plants because the quality of Turkish lignite is generally poor, 69% of the reserves have a heat content of less than 2,000 kcal/kg and only around 6% more than 3000 kcal/kg (Unalan, 2003; Euracoal, 2011). The properties of the lignite used in TPP is given in Table 1.

Table 1 The proposed properties of the lignite to be used in TPP (TEK, 1992)

Basic calorific value(kcal/kg)	1050 ± 100
Minimum calorific value(kcal/kg)	750
Maximum calorific value (kcal/kg)	1350
Ash (%)	8-23
Water content (%)	50-64
CaO Content of Ash (%)	20-40

Two coal-fired thermal power plants are currently operating in the region, and three power plants are in the planning phase. The plants are built very close to residential areas in Afsin and Elbistan districts, where the population is more than 200 thousand. With the activation of thermal power plants, they cause important environmental problems by releasing gas (SO₂, CO, NO_x, etc.) liquid (high temperature etc.) or solid (fly ash, ash, etc.) wastes into the environment (Tiwari et al., 2019).

Thermal power plants create significant environmental pollution in their environment with many interdependent processes from the extraction of lignite coal to the storage of the ash formed by the coal burned. Moreover, people, animals and plants are affected by this pollution. The environmental impacts of thermal power plants can be listed as air, water, and soil pollution (Basol et al., 2007; Uyar et al., 2009; Arslan, 2014; Manisalidis, 2020; Akbay, 2020; Akbay & Bilgiç, 2020).

While some of the effects of thermal power plants on the environment are formed with flue gases, another part is due to the dispersion of the discarded ashes to the environment, their improper storage and mixing with water and soil. The most important of the flue gases that come out of the thermal power plants and harm the environment is sulfur. “Flue Gas Desulphurization” system placed in the chimneys of thermal power plants can purify up to 99.4% of the sulfur and small ash particles coming out of the chimneys (Goncaloglu et al., 2000; Roy & Sardar, 2015).

Harmful elements such as lead, zinc, cadmium, nickel and cobalt, which are produced as a result of the burning of low-quality lignite, not only pollute the surface and groundwater but also cause soil contamination (Baba 2002; Baba & Usmen, 2006).

Since the lignite used in thermal power plants contain high levels of sulfur, sulfur dioxide, which exits from the plants that do not have a flue gas desulphurization plant or which has been disabled by malfunction, has many negative effects on living things. One of them is its effect on plants. According to the results of studies in Türkiye and other countries, with the passage activate the lignite-fired thermal power plants, the cumulative effects of pollutants in the areas of agriculture and forestry is concerned (Deepak and Agrawal, 1999; Goncaloglu et al., 2000; Avci, 2004; Cicek and Koparal, 2004; Avci, 2005). Acid rains from pollutant gases that will come out of the plant chimney can change the pH of the water. Heavy metals such as Fe, Mn, Co, Cu, Zn, Pb, U found in fly ash can also reach the receiving environment through groundwater over time (Sheng, 1994; Singh et al., 1995; Goncaloglu et al., 2000).

Storage of the primary energy source used in thermal power plants appears to be a problem. It is known that especially lignite enterprises cause more negative environment (Karaca, 2001; Avci, 2005). Leaks that may occur have negative effects on soil and water resources. Apart from the storage of the primary energy source, the disposal of large quantities of ash from thermal power plants is always a problem, as mentioned above. There is also the possibility that ashes are contaminated by heavy metal and radioactive elements. As a result of

combustion, 35-55% ashes in lignite coal are stored on the soil in the ash dam and cause soil pollution (Goncaloglu et al., 2000). In addition, soil removal from large areas during the extraction of coal is considered to be a kind of soil pollution as it causes misuse of land (Goncaloglu et al., 2000; Baba, 2002; Baba & Usmen, 2006).

TPP-A was planned as four units, each has a capacity of 344 MW. The construction of the Plant started in 1973, and it was completed and electricity production began between 1984 and 1988. The TPP-A was one of the biggest thermic power plant in Türkiye and the world at the time it was built, and it generated 98 billion KW/h energy by burning over 200 million tones lignite (Cedbik, 2011; Basaran 2009). TPP-B was originally planned to be constructed in 16 units, each has a capacity of 344 MW in the Afsin-Elbistan lignite basin. The power plants A and B burned 10.8 and 15.8 million tones lignite, respectively (Basaran, 2009).

The state-owned TPP-A causes public concern for its possible effects on the environment since it has been working without an effective and modern filtering system ever since it was built. The storage of ashes also creates problems, since wind-blown materials from small ash mountains fall on farmers' fields.

Different studies have linked the heavy metal pollution in the soil and plant surrounding a thermal power plant (Adriano et al., 1980; Ghuman et al., 1994; Karaca, 2001; Sajwan et al., 2003; Sushil & Batra, 2006; Huang, 2017; Pastrana-Corral et al., 2017; Akbay et al., 2023).

Karaca (2001) studied the effects of TPPs on the environment by collecting soil samples four times based on the dominant wind direction to a distance of 30 km. The findings showed that the measured biological indices such as urease and alkaline phosphatase enzyme activities, and CO₂ release increased and elemental concentrations of S, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, and Fe decreased with a distance from the power plants.

The management of ashes produced by lignite burning thermic power plants is an important problem. The application of fly ashes to fields provides soils many plant nutrients such as K, Ca, S, B, Mo, and Zn with the exception of N and P. The fly ashes can also be used for correcting acid soil pH due to alkaline nature of fly ashes. Despite all these beneficial effects, the fly ash use in agricultural land is not common, because it may contain elements in toxic concentrations such as Cd, Cr, Pb, Ni, B, Mo, and Se (Adriano et al., 1980). Sajwan et al. (2003), on the other hand, reported that application of fly ashes up to 280 tones/ha did not cause any statistically significant growth retardation on grasses in pot and field experiments. They also reported that fly ash applications at 8-16 tones/ha range did not cause any pollution thread for groundwater. The application of fly ashes in combination with compost in differing ratios also was shown to increase crop yields (Ghuman et al., 1994). Pastrana-Corral et al. (2017) reported that the heavy metal concentrations such as Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, and V in soil around thermal power plant were low compared to the maximum allowable concentrations stated by Mexican legislation. Huang (2017) found that coal-fired power Plant is a point pollution source of Cd, Hg, As, Cu and Cr in nearby soils. Hg pollution in soils from both croplands and forestlands is caused mainly by fly ash from the power Plant. Sushil & Batra (2006) investigates the heavy metal contamination of fly ash and bottom ash from three major power plants in North India and found that the concentrations of Cr and Zn were highest while Co concentration was less. Farooq et al. (2008) studied heavy metals (Pb, Cu, Cr, Zn and Cd) in plant leaves and determined that Cu, Zn, Cr, Pb and Cd amounts are below the maximum values recommended by FAO/WHO experts.

This study was performed to determine possible effects of TPPs on the environment. The research findings are expected to contribute to the public and private sector by providing results based on original data on the damage caused by the thermal power plant to the environment.

MATERIALS AND METHODS

TPP is located in Afsin-Elbistan plain, which is in the East Anatolian Region of Türkiye, 154 km north of Kahramanmaraş City Center. Soil samples were collected from 52 sampling points near both TPP and to a distance of 15 km in the dominant wind direction. Deep sampling was performed for the first 12 points to a depth of 1m (at the surface, 0.5 m, and 1 m). Thus, a total of 76 soil samples were collected. The purpose of the deep sampling was to determine whether changes in soil properties were parent material or the TPP related. If the concentrations of any measured soil property increased near the TPP and decreased with depth significantly, the soil property was accepted as affected from the TPP.

The soil samples were air-dried and crushed to pass a 2-mm sieve. The samples were analyzed for ammonium acetate-extractable K (Helmke and Sparks, 1996), organic carbon by wet oxidation (Nelson and Sommers 1996), Olsen P (Kuo 1996), soluble salts (Rhoades, 1996), pH (Thomas, 1996), total CaCO_3 (Loeppert and Suarez, 1996), available $\text{SO}_4\text{-S}$ with the turbidimetric method (Kacar, 2009), DTPA extractable Fe, Zn, Cu, Pb, and Ni (Lindsay and Norwell 1978), and total concentrations of Fe, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Th, and U. Soil samples were prepared with wet oxidation method using a mixture of HNO_3 , HClO_4 , and HF for total elemental analysis. Perkin Elmer 3110 atomic absorption spectrophotometer (PEAAS) and Optima SP3000 spectrophotometer were used to determine total and extracted soil elements (Carter & Gregorich, 2007; Kacar, 2009). Total Th and U analysis were run by the Turkish Atomic Energy Agency using the XRF method (TAEK, 2020).

Soil samples were grouped based on distance and direction from the TPP-A, and differences among the groups were tested by using ANOVA and Duncan multiple range test. The differences were accepted as significant if the p-value was smaller than 0.05 ($p < 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Chemical and physical analysis of ash samples collected from the TPP ash deposition area indicate that 74-85 % of ashes were mainly CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 , and Al_2O_3 (Ural 2005). The CaCO_3 contents were between 7 and 38%, and bulk densities of the samples ranged from 0.63 to 1.36 g/cm^3 . Ural (2005) also reported that ash samples contained 2.3-9.68 % S, 362-759 mg/kg Cr, and 275-330 mg/kg Ni.

The ash samples collected from the TPP-B ash deposition area for this study also indicate that ash samples contain significant amounts of total S, Cr, and U (Table 2).

Table 2 Elemental composition of ash samples collected from the TPP-B ash deposition area

Total Th	Total U	Total Cr	Total Ni	Total Cu	Total Pb	Total S
mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
7.2	29.8	345	123	33.9	14.6	5.260

The results of the analysis of soil samples collected from 52 sampling points are given in Table 3. Water saturation values of samples show that soils are clay-loam in texture. Soil pH was alkaline, soil CaCO_3 content ranged from moderate to very high, and soils contained moderate levels of organic carbon. Both plant available P and K concentrations were high in the soils.

The total elemental analysis of soil samples showed that the values with the exception of total Ni, Cr, and U were lower than maximum allowable levels of the Turkish Soil Pollution

Control Regulation (TKKY) and in accord with generally found concentrations of these elements in most soils (Mengel et al., 2001). Although the total Cu levels were lower than the limits of TKKY, the concentrations measured were higher than average values given for most soils. Kabata-Pendias and Pendias (2001) reported measured total U levels around the globe as between 0,79-11 mg/kg. The total U levels in some soils were higher than the limits of the TKKY, which is 5mg/kg.

Table 3 Description statistics of some soil properties analyzed in surface soil samples

	Saturation (%)	Total Salt (%)	pH	CaCO ₃ (%)	Organic Carbon (%)	Olsen P (mg/kg)	Available K (mg/kg)	Available SO ₄ -S (mg/kg)	DTPA-Cu (mg/kg)	DTPA-Zn (mg/kg)
Mean	61,49	0,15	8,02	29,52	2,55	28,59	643,62	69,48	0,95	2,18
Min.	52,20	0,07	7,80	13,26	1,57	8,92	119,0	11,70	0,39	0,60
Max	74,10	0,25	8,76	49,44	4,74	116,50	1256,0	637,60	2,49	6,44
Std. Dev.	4,23	0,04	0,14	9,02	0,65	18,04	210,93	92,29	0,39	1,30
CV (%)	6,88	26,66	1,74	30,55	25,49	63,10	32,77	132,83	41,05	59,63
	DTPA-Fe (mg/kg)	DTPA-Ni (mg/kg)	DTPA-Pb (mg/kg)	Total U (mg/kg)	Total Th (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total Fe (%)	Total Cr (mg/kg)	Total Ni (mg/kg)
Mean	3,28	1,21	1,09	2,83	7,97	38,50	102,18	3,19	191,73	189,84
Min.	1,34	0,07	0,53	2,15	4,37	20,64	65,88	2,32	51,50	106,81
Max	8,51	3,64	1,58	5,81	10,35	69,71	145,89	4,55	375,50	286,70
Std. Dev.	1,53	0,77	0,24	0,75	1,40	10,42	17,15	0,47	75,02	37,16
CV (%)	46,64	63,64	22,01	26,50	17,56	27,06	16,78	14,73	39,13	19,57

As mentioned before, soil samples were placed into six groups based on their distance from the TPP (Table 4). The group I and group II represent soil samples collected near the TPP-A and TPP-B, respectively. The group III samples were taken between the two TPP units. The groups IV, V, and VI were considered far samplings. Group IV was collected from north of the TPP, the groups V and VI were taken in areas far from the TPP in the dominant wind direction, which is from south to southeast. The furthest sampling point was 15 km away from the TPP-A. The idea behind the sampling is that if the TPP related pollution existed for any measured parameter, the concentration of the element would be higher for the group I and II, and the lowest for group VI.

Among the measured parameters, the total uranium and available SO₄-S concentrations statistically significantly increased near the TPP-A and decreased with a distance. When groups were compared for the plant available SO₄-S, the concentration of groups I-IV were significantly higher than that of group V and VI. Although they were statistically in the same group and not different, the available SO₄-S concentrations of groups I and II were nearly twice as much of that for groups III and IV (Table 4). This was due to very high coefficient of variation values of sulfate measurements. The sulfate distribution map of the study area also reveals the thermic power plant induced pollution.

Total Cr and Ni concentrations in the study area were higher than the limits of TKKY, but statistical analysis revealed that there were no significant differences among the groups for these two elements (Table 4). Farmers in the region have been complaining about decreasing

soil fertility and filing lawsuits against the government for compensation. The farmers based their claim on high levels of total Cr and Ni concentrations. Similar to this study a previous study with unpublished data was not able to find any relation between the distance from the TPP and total Cr and Ni concentrations. Although statistically not significant, the highest total Ni content was measured for group VI samples. All these findings suggest that total Cr and Ni concentrations are naturally high in the region, and the effect of the power plant cannot be determined.

Table 4 ANOVA statistics of soil analyzes taken from the study area and divided into groups according to their distance from the power plants

Distance from the TPP	Saturation (%)	Total Salt (%)	pH	CaCO ₃ (%)	Organic Carbon (%)	Olsen P (mg/kg)	Available K (mg/kg)	Available SO ₄ -S (mg/kg)	DTPA-Cu (mg/kg)	DTPA-Zn (mg/kg)
I	61,59	0,13b	8,07	25,52	2,88a	30,76	678	94,48a	1,03	3,04a
II	62,52	0,19a	7,95	31,43	2,61ab	25,43	688	98,87a	1,04	1,95ab
III	64,06	0,14b	8,13	37,22	3,12a	37,68	507	55,84a	0,66	2,16ab
IV	60,14	0,12b	8,00	28,09	2,13b	30,58	675	54,22a	1,11	1,82ab
V	61,85	0,15b	7,98	34,67	2,24b	20,06	520	27,26b	0,77	1,76ab
VI	58,80	0,14b	8,00	27,49	2,03b	25,15	668	25,56b	0,68	1,15b
P-value	0,363	0,005	0,149	0,075	0,002	0,650	0,388	0,005	0,089	0,028
Distance from the TPP	DTPA-Fe (mg/kg)	DTPA-Ni (mg/kg)	DTPA-Pb (mg/kg)	Total U (mg/kg)	Total Th (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total Fe (%)	Total Cr (mg/kg)	Total Ni (mg/kg)
I	2,96b	1,10abc	1,05ab	3,11a	7,76	48,09a	103,86	3,03b	210,34	200,12
II	5,16a	1,81a	1,16a	3,30a	7,87	36,40b	102,52	3,57a	189,09	189,94
III	3,42b	0,88bc	1,19a	2,64ab	8,02	34,41b	105,40	3,24ab	175,67	179,72
IV	3,10b	1,44ab	1,24a	2,39b	8,22	33,95b	99,82	3,22ab	202,27	178,47
V	2,04b	0,52c	0,83b	2,63ab	7,95	33,65b	114,28	2,84b	164,90	170,92
VI	2,23b	1,05abc	0,98ab	2,37b	8,34	31,04b	83,12	3,26ab	164,65	212,25
P-value	0,000	0,014	0,012	0,011	0,961	0,000	0,075	0,028	0,743	0,322

*: Averages are compared with Duncan test, if p-value is less than 0.05 ($p < 0.05$) it is considered important.

Total Cr and Ni concentrations in the study area were higher than the limits of TKKY, but statistical analysis revealed that there were no significant differences among the groups for these two elements (Table 4). Farmers in the region have been complaining about decreasing soil fertility and filing lawsuits against the government for compensation. The farmers based their claim on high levels of total Cr and Ni concentrations. Similar to this study a previous study with unpublished data was not able to find any relation between the distance from the TPP and total Cr and Ni concentrations. Although statistically not significant, the highest total Ni content was measured for group VI samples. All these findings suggest that total Cr and Ni concentrations are naturally high in the region, and the effect of the power plant cannot be determined.

Deep soil sampling was done to a depth of 1 m with 0,5 m increments for the first 12 sampling points near the TPP-A (Table 5). The reason for deep soil sampling was that the TPP related pollution would show itself as increases in the concentration at the surface for

especially immobile elements. Total Cr and Ni concentrations were not affected by soil depth, and their values were higher than limits of TKKY even at 1 m depth indicating again total Cr and Ni are naturally high in the region. The total uranium levels decreased with depth but this decrease was statistically significant if the p-value was set to 10% ($p < 0.1$). The changes in the available sulfate were not statistically significant, but numbers increased with depth. This can be explained with the mobile nature of sulfate anions in the soil (Table 5).

Table 5 ANOVA statistics of soil samples taken according to soil depth*

Depth	Saturation (%)	Total Salt (%)	pH	CaCO ₃ (%)	Organic Carbon (%)	Olsen P (mg/kg)	Available K (mg/kg)	Available SO ₄ -S (mg/kg)	DTPA-Cu (mg/kg)	DTPA-Zn (mg/kg)
Surface	59,66	0,12 b	8,07	26,33	2,82a	19,74a	631,08a	114,94	1,24	3,76a
0,5 meter	60,97	0,15b	8,05	31,63	1,93b	10,51b	265,83b	178,63	1,21	1,86b
1 meter	63,89	0,18 a	8,07	31,08	1,31c	4,36 c	226,17b	167,63	1,18	1,85b
P-value	0,151	0,001	0,894	0,598	0,000	0,000	0,000	0,613	0,969	0,001
Depth	DTPA-Fe (mg/kg)	DTPA-Ni (mg/kg)	DTPA-Pb (mg/kg)	Total U (mg/kg)	Total Th (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total Fe (%)	Total Cr (mg/kg)	Total Ni (mg/kg)
Surface	3,24	1,51a	1,04	3,03	7,33	51,25	114,39	2,96	218,62	196,31
0,5 meter	2,98	1,18b	0,99	2,51	7,01	42,06	105,11	3,03	179,95	181,69
1 meter	3,45	1,09b	0,88	2,31	6,72	41,20	105,23	3,07	183,72	200,15
P-value	0,743	0,018	0,313	0,057	0,723	0,167	0,428	0,842	0,562	0,690

*: Averages were compared with Duncan test, if p-value is less than 0.05 ($p < 0.05$) it is considered important.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In this study, the environmental impact of Afsin-Elbistan Thermal Power Plants was examined. Since the lignite used in these thermal power plants contain high amounts of sulfur, sulfur dioxide, especially from plants without flue gas desulphurization plant which exits from the plants that do not have a flue gas desulphurization plant or from facilities that have been disabled by malfunction, has many negative effects on living things.

Acid rains from pollutant gases coming out of the power plant chimney can change the pH of the water. Heavy metals such as Fe, Mn, Co, Cu, Zn, Pb, U found in fly ash can also reach the receiving environment through groundwater over time. Wastes from thermal power plants have an impact on the environment as well as people.

The analysis of soil samples collected for this study shows that concentrations of some of the measured elements increased near the TPP indicating pollution originating from the TPP. Total uranium and plant available sulfate were the main sources of pollution.

Although TPP-B has a more modern operation and filter system than TPP-A, there is dirt around both power plants. This situation reveals that the pollution is not only caused by chimneys but also the transport and storage of the released ash is a serious problem. More studies are needed to determine the potential environmental and human health impacts of thermal power plants.

ACKNOWLEDGEMENT: This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) under Grant (SOBAG-109R027)

REFERENCES

- Adriano, DC., Page, A.L, Elseewi, AA, Chang, AC. & Starnghan, IR. (1980). Utilization and disposal of fly ash and other coal residue in terrestrial ecosystems: a review. *J. Environ. Quality* 9: (333-334).
- Akbay, C., Dikici, H., Bilgiç, A. & Arı, H. (2011). Afşin-Elbistan termik santralının neden olduğu çevre kirliliğinin ekonomik analizi. TUBİTAK TAGOV (109R027) Proje sonuç Raporu.
- Akbay, C. (2020). Afşin-Elbistan ovası'nda sulu ve kuru tarla arazilerde kapitalizasyon oranı ve arazi değerlerinin tespiti. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(2), 147-156.
- Akbay, C., Aytıp, H., & Dikici, H. (2023). Evaluation of radioactive and heavy metal pollution in agricultural soil surrounding the lignite-fired thermal power plant using pollution indices. *International Journal of Environmental Health Research*, 33(12), 1490–1501.
- Akbay, C. & Bilgiç A. (2020). Afşin ve Elbistan İlçelerinde Toplumun Termik Santrallerin Çevreye ve İnsan Sağlığına Etkileri Konusundaki Görüşleri. *KSÜ Tarım ve Doğa Derg* 23 (6): 1587-1597.
- Arslan, S. (2014) Environmental effects of thermal power plants. <https://www.asikurtlar.com/termik-santralların-cevresel-etkileri.html>. Accessed 14 July, 2020.
- Avcı, S (2004) Effects of air pollution caused by Çatalagzı thermal power plant on plants. Istanbul University, Scientific research projects, Project No: 1780/21122001, İstanbul.
- Avcı, S.(2005) Thermal power plants in Turkey and their environmental effects. *Journal of Geography* 13: 1-26.
- Baba, A (2002) Assessment of radioactive contaminants in by-products from Yatagan (Mugla, Turkey) coal-fired power plant. *Environmental Geology* 41: 916–921.
- Baba, A, Usmen, MA. (2006). Effects of fly ash from coal-burning electrical utilities on ecosystem and utilization of fly ash. *Groundwater and ecosystems* edited by Alper Baba, Ken W.F. Howard and Orhan Gündüz. IV. Earth and Environmental sciences, Vol.70. Published by Springer.
- Basaran, M. (2009). Problems and suggestions for new investments in Afsin-Elbistan basin, DEK-TMK Türkiye 11. EnergyCongress. 21-23 October 2009, Tepekule, İzmir.
- Basol. K, Durman. M, & Önder. H. (2007). Economic Analysis of Natural Resources and Environment. Alfa Aktüel yayınları, Bursa.
- Carter, MR. & Gregorich EG. (2007). Soil sampling and methods of analysis. Second edition, Canadian Society of soil Science, CRS Press, Boca Raton FL., p.340.
- Cedbik, (2011). Soil pollution control regulation. <http://www.cedbik.org/14ToprakKirliligiKontrolu.pdf>. Accessed 16 June, 2020,
- Çiçek, A. & Koparal, AS. (2004). Accumulation of sulfur and heavy metals in soil and tree leaves sample from the surroundings of Tunçbilek thermal power plant. *Chemosphere*, 57: 1031-1036.

- Deepak, SS. & Agrawal, M. (1999). Growth and yield responses of wheat plants to elevated levels of CO₂ and SO₂, Singly and in Combination. *Environmental Pollution* 104(3): 411-419. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00171-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00171-7)
- Enerjatlasi (2020). Electricity generation in Turkey. <http://en.enerjatlasi.com/electricity-generation/turkey/>. Accessed 16 June, 2020.
- Euracoal (2011). Coal industry across Europe 2011. <http://www.euracoal.org/>. Accessed 27 June, 2020.
- Farooq, M, Anwar F, Rashid U (2008) Appraisal of heavy metal contents in different vegetables grown in the vicinity of an industrial area. *Pak. J. Bot.*, 40(5): 2099-2106.
- Ghuman, GS., Menon, MP., Chandra, K., James, J., Adriano, DC., Sawjan, KS. (1994). Uptake of multi elements by corn from fly ash-compost amended soil. *Water, Air, and Soil Pollution*. 72: 285-295. <https://doi.org/10.1007/BF01257130>
- Goncaloglu, Bİ., Ertürk, F., Ekdal, A. (2000). Comparison of thermal power plants and nuclear power plants in terms of environmental impact assessment. *Ekoloji Çev-Kor* 9(34): 9-14. <http://www.ekolojidergisi.com/article/termik-santrallerle-nukleer-santrallerin-cevresel-etki-degerlendirmesi-acisindan-karsilastirilmesi-4015>. Accessed 15 July, 2020.
- Helmke, PA., Sparks, DL. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. In: D.L. Sparks (editor), *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods*. Part 3. Madison, WI., pp. 551-575.
- Huang, X., Hu, J., Qin, F., Quan, W., Cao, R., Fan, M., Wu, X. (2017). Heavy metal pollution and ecological assessment around the Jinsha coal-fired power plant (China). *Int. J. Environ. Res. Public Health* 14 (1589):1-12.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (2001). Trace elements in soils and plants. CRC. Press, Inc. Boca Raton, Florida. s 200.
- Kacar, B. (2009). Sulfur determination. *Soil Analysis*. 2nd edition, Nobel No: 1387, 195-205
- Karaca, A. (2001). Effects of Afsin-Elbistan power plant emission on the physical, chemical and biological properties of nearby soils. *Journal of Engineering Sciences* 7(1): 95-102.
- Kuo, S. (1996). Phosphorus. In: D.L. Sparks (editor), *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods*. Part 3. Madison, WI., pp. 869-921.
- Lindsay, WL., Norvell WA. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 421-428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>.
- Loeppert, RH., Suarez, DL. (1996). Carbonate and gypsum. In: J. M. Bartels (editor), *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods*. Part 3. Madison, WI., pp.437-474.
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., Bezirtzoglou, E. (2020) Environmental and health impacts of air pollution: A review. *Frontiers in public health* 8(14): 1-13. <https://doi: 10.3389/fpubh.2020.00014>
- Mengel, K., Kirkby, EA., Kosegarten, H., Apell, T. (2001). Principles of plant nutrition. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London
- Nelson, DW., Sommers, LE. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: J. M. Bartels (editor), *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods*. Part 3. Madison, WI., pp. 961-1011.

- Pastrana-Corral, MA., Wakida, FT., Temores-Pen, J., Rodriguez-Mendivil, DD., Garcí'a-Flores, E., Pin˜on-Colin, TDJ., Quin˜onez-Plaza, A. (2017). Heavy metal pollution in the soil surrounding a thermal power plant in Playas de Rosarito, Mexico. *Environ. Earth Sci.* 76: 583. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6928-7>
- Rhoades, JD. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: J. M. Bartels (editor), *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods. Part 3.* Madison, WI., pp. 417-436.
- Roy, P., Sardar, A. (2015). SO₂ Emission control and finding a way out to produce sulphuric acid from industrial SO₂ emission, *J. Chem Eng Process Technol* 6(2): 1-7. <https://doi.org/10.4172/2157-7048.1000230>.
- Sajwan, KS., Paramasivam, S., Alva, AK., Adriano, DC., Hooda, PS. (2003). Assessing the feasibility of land application of fly ash, sewage sludge and their mixtures. *Advances in Environmental Research* (8): 77-91.
- Sheng, XY., Bai, LF., Hong-fu, W., Jin, M., Guo-yi, Y., Tian-bin, Z., Wei, L. (1994). Spatial distribution of heavy metals of agricultural soils in Dongguan, China. *Journal of Environmental Sciences* 16(6): 912-918.
- Singh, J., Agrawal, M., Narayan, D. (1995). Soil changes around coal-fired power plants. *Environmental International* 21(1): 93-102. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(94\)00035-6](https://doi.org/10.1016/0160-4120(94)00035-6).
- Sushil, S., Batra VS. (2006). Analysis of fly ash heavy metal content and disposal in three thermal power plants in India. *Fuel* 85: 2676-2679.
- TAEK (2020). Turkish atomic energy authorization. <https://www.taek.gov.tr/>. Accessed 20 July 2020.
- TEIAS (2020). Turkey's electricity transmission corporation. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR>.
- TEK (1992). Coal sales protocol between TEK and TKI for Afşin-Elbistan thermal power plant, Ankara.
- Thomas, GW. (1996). Soil pH and acidity. In: D.L. Sparks (editor), *Methods of Soil Analysis: Chemical Methods. Part 3.* Madison, WI., pp. 475-491.
- Tiwari, MK., Bajpai, S., Dewangan, UK. (2019). Environmental issues in thermal power plants - review in Chhattisgarh Context. *J. Mater. Environ. Sci.* 10(11): 1123-1134. http://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol10/vol10_N11/JMES-2019-10-113-Tiwari.pdf. Accessed 28 July, 2020
- Unalan, G. (2003). General evaluation of energy resources of Turkey. *Journal of Geological Engineers* 27(1): 17-44. <https://app.trdizin.gov.tr/publication/paper/detail/TmpJek1qVTE>. Accessed 23 July, 2020
- Ural, S. (2005). Comparison of fly ash properties from Afsin–Elbistan coal basin, Turkey. *Journal of Hazardous Materials* 119: 85-92
- Uyar, G., Avcil, E., Ören, M., Karaca, F., Öncel, MS. (2009). Determination of heavy metal pollution in Zonguldak (Turkey) by Moss analysis (*Hypnum cupressiforme*). *Environmental Engineering science* 26(1): 183-194. <https://doi.org/10.1089/ees.2007.0253>

THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF RAW PERLITE AGGREGATE CONCRETE

Prof. Dr. Yaşar AYAZ

İnönü University, Faculty of Engineering, Department of
Civil Engineering, Malatya, Türkiye
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1089-0700>

Prof. Dr. Hakan YALÇINER

Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Engineering-Architecture,
Department of Civil Engineering, Erzincan, Türkiye
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7289-3384>

Assoc. Prof. Dr. Atila KUMBASAROĞLU

Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Engineering-Architecture,
Department of Civil Engineering, Erzincan, Türkiye
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7289-3384>

ABSTRACT

High temperatures negatively affect the mechanical properties of concrete. This study examines the effect of elevated temperature on the mechanical properties of concrete produced with raw perlite aggregate. In the research, high temperature tests (25°C, 200°C, 400°C, and 600°C) were conducted on four different concrete mixtures (C25, C40, P25, and P40) produced using two different aggregate types (raw perlite aggregate and conventional coarse aggregate). Experimental results showed that as the temperature increased to 600°C, the compressive strength of conventional concrete samples decreased by 34.91% for C25 and 41.79% for C40, while the raw perlite aggregate samples (P25 and P40) exhibited significantly lower strength reductions of only 9.91% and 12.80%, respectively. These findings clearly demonstrate that raw perlite aggregate significantly enhances thermal resistance compared to conventional aggregates. Additionally, although the flexural strength of P25 and P40 samples at 25°C was initially lower due to the more limited stress-strain relationship of perlite, their post-exposure performance showed similar flexural behavior under increasing temperature. Microstructural analyses further confirmed that raw perlite aggregates contribute to minimizing micro-crack propagation and are more resistant to thermal degradation. In conclusion, raw perlite aggregate provides a sustainable and economical alternative for fire-resistant structures.

Keywords: Concrete mechanical properties, high temperatures, raw perlite aggregate.

INTRODUCTION

Rapid growth in urbanization and industrialization has increased the demand for concrete. This increased demand creates both economic and ecological problems in the process of sourcing raw materials from natural aggregate sources for commercial ready-mix concrete production. While concrete production processes are more cost-effective and have lower carbon emissions than other building materials, high production volumes negate these advantages [1]. Perlite concrete, considered a potential alternative to traditional concrete in terms of mechanical properties, is expected to reduce the weight of reinforced concrete

structural elements with similar cross-sectional properties and, consequently, the seismic forces acting on the reinforced concrete structure.

For perlite to replace traditional aggregate and be used in the production of reinforced concrete elements, concrete compressive strength values alone are not sufficient. In this context, experimental studies on full-scale reinforced concrete elements are crucial for understanding the load-bearing properties of concrete produced with perlite. It is necessary to compare experimental data under the same loading type for full-scale reinforced concrete elements produced with traditional aggregate and natural perlite aggregate, which have the same concrete compressive strength, and to determine design principles for perlite's use based on these studies. As is well known, while full bond between concrete and reinforcement is assumed based on the design and bearing capacity assumptions of reinforced concrete elements, the bond strength-reinforcement pullout relationships are not reflected in the design. Calculating the bond stress and reinforcement shear stress, which act as contact elements between concrete and reinforcement, is only possible by knowing the true bond length of the reinforced concrete element.

The use of waste and/or alternative materials in concrete, which aim to significantly reduce the damage to the ecological system and can both save energy and contribute to the material-mechanical properties of concrete, is becoming increasingly common. Improvements in concrete properties and the environmental benefits resulting from the use of waste and/or alternative materials encourage further research on green concrete production. Bulut et al. (2017) [2] reported that as the e-plastic ratio increased, the compressive, flexural, and splitting tensile strength values of concrete decreased, but an improvement in ductility was observed. Similarly, Patra et al. (2022) [3] emphasized that the use of recycled aggregates caused decreases in both compressive and tensile strengths. Rahal and Alrefaei (2017) [5] found that the use of recycled aggregates caused a 13-18% decrease in the shear strength of reinforced concrete beams. In contrast, Shakir and Alghazali (2024) [8] showed that precast deep beams containing 1% steel fiber and various proportions of recycled concrete aggregates (RCA) exhibited significant improvements such as 100% increase in energy capacity, 11% increase in stiffness, and 46% increase in ductility. Furthermore, Fayed and Mansour (2023) [12] concluded that the addition of waste plastic fibers limits the deterioration of the cover layer in reinforced concrete columns and reduces the risk of sudden collapse. Additionally, Naser et al. (2025) [13] reported that recycled concrete aggregates had no significant effect on crack distribution, damage patterns, or energy capacity on reinforced concrete cantilevers, exhibiting comparable behavior to conventional concrete cantilevers.

As an alternative to recycled aggregates, volcanic products have significant potential but have not yet been adequately evaluated [17]. Volcanic rocks such as pumice, zeolite, and perlite offer significant advantages over natural river aggregates due to their lightness, fire resistance, and pozzolanic properties [18]. Perlite ore, the subject of this study, is used for various purposes in many sectors such as construction, agriculture, and medicine. Perlite, in its raw or expanded form, fulfils functions such as insulation, filtration, and disinfection [19]. The use of raw and expanded perlite should be encouraged in the construction industry. There are few studies on the usability of perlite, either raw or expanded, in cement production.

This study investigated the use of raw perlite aggregate in concrete production as a sustainable alternative, and comprehensively examined the effects of these concretes at high temperatures. Perlite, a lightweight and heat-resistant volcanic material, has the potential to

improve the thermal and mechanical properties of concrete, while also contributing to sustainable concrete production by reducing its environmental impact.

MATERIALS AND METHODS

Materials

The experimental study, cube ($150 \times 150 \times 150$ mm) and prismatic beam ($100 \times 100 \times 400$ mm) specimens with the same concrete compressive strengths were produced using conventional and raw perlite aggregates. The concrete mixes were designed to achieve compressive strengths of 25 MPa and 40 MPa, representing two concrete classes.

Sample Preparation

Four different concrete mixes were prepared: C25 and C40 (with conventional aggregates), and P25 and P40 (with raw perlite aggregates). The specimens were cured for 28 days under standard curing conditions. Subsequently, the specimens were exposed to four different temperature levels (25°C, 200°C, 400°C, and 600°C)

Test Methods

Both destructive (compressive strength, flexural strength, modulus of elasticity) and non-destructive (ultrasonic pulse velocity, mass loss, SEM analysis) testing methods were applied to the samples. High-temperature tests were conducted in an oven with a temperature increase rate of 2.5°C/minute. After reaching the target temperature, the samples were held at this temperature for 1 hour and then allowed to cool to room temperature.

EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

Compressive strength

The compressive strength results of samples exposed to high temperatures are shown in Figure 1. As temperatures increased up to 600°C, the compressive strength of conventional concrete samples decreased by 34.91% for C25 and 41.79% for C40. In contrast, strength losses in samples with raw perlite aggregate (P25 and P40) were only 9.91% and 12.80%, respectively.

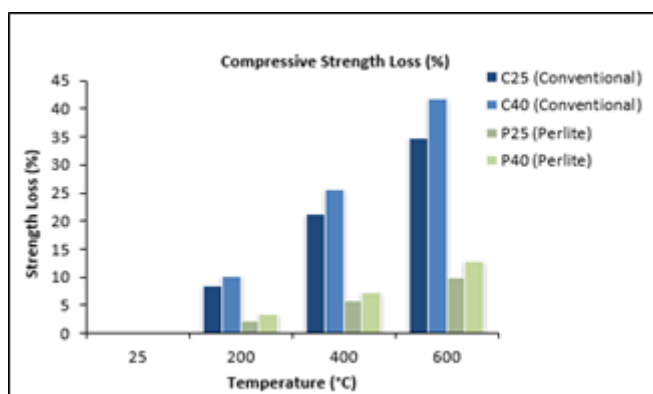


Figure 1. Compressive strength loss (%) of concrete samples at different temperatures

These results clearly demonstrate that raw perlite aggregate significantly increases thermal resistance compared to conventional aggregates. The better performance of perlite aggregate

concrete at high temperatures can be attributed to its porous structure, which allows for easier release of vapor pressure at high temperatures and reduced crack formation.

Flexural strength

The flexural strength of P25 and P40 samples at 25°C was initially lower due to perlite's more limited stress-strain relationship. However, after exposure to high temperatures, perlite aggregate concrete exhibited flexural performance similar to conventional concrete.

At temperatures up to 600°C, the rate of decrease in flexural strength of perlite aggregate concrete was lower than that of conventional concrete. This can be explained by the thermal expansion properties of perlite aggregates limiting crack formation in the cement matrix at elevated temperatures.

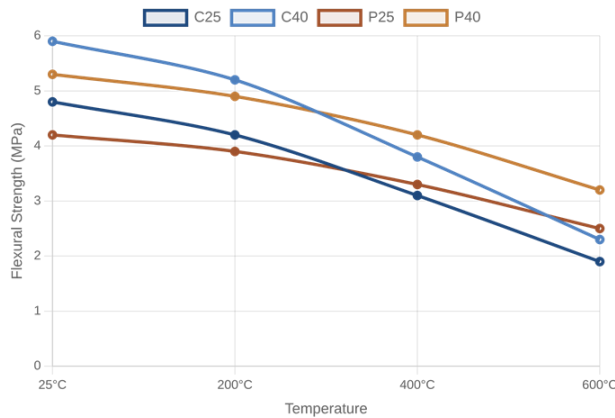


Figure 2. Flexural Strength Changes with Temperature Increase

CONCLUSION

This study investigated the behavior of raw perlite aggregate concrete at high temperatures and reached the following conclusions:

1. Raw perlite aggregate concrete exhibited less strength loss at high temperatures than conventional concrete. At 600°C, the compressive strength loss of perlite aggregate concrete (9.91% vs. 12.80%) was significantly lower than that of conventional concrete (34.91% vs. 41.79%).
2. The porous structure of perlite aggregate concrete facilitates the release of vapor pressure at high temperatures, reducing crack formation.

Acknowledgement

This work was supported by the Scientific Research Projects Commission of Inonu University [Grant No: FBA-2024-3343]. The authors wish to express their gratitude and greatly appreciate the financial support provided by the Scientific Research Projects Commissions.

REFERENCES

- [1] Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- [2] Bulut, H. A., Şahin, R., & Şimşek, O. (2017). Influence of e-plastic waste as substituted aggregates on the fresh and hardened properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 153, 882-891.
- [3] Patra, R. K., Mukharjee, B. B., & Adhikari, J. (2022). Concrete production using recycled aggregates for sustainable construction. *Materials Today: Proceedings*, 48, 1136-1141.
- [4] Siddique, R., & Naik, T. R. (2020). Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview. *Waste Management*, 24(6), 563-569.
- [5] Rahal, K., & Alrefaei, Y. (2017). Shear strength of recycled aggregate concrete beams containing stirrups. *Construction and Building Materials*, 151, 546-557.
- [6] Xiao, J., Li, W., Fan, Y., & Huang, X. (2018). An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996–2011). *Construction and Building Materials*, 31, 364-383.
- [7] Ismail, S., & Ramli, M. (2019). Mechanical strength and drying shrinkage properties of concrete containing treated coarse recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 68, 726-739.
- [8] Shakir, A. A., & Alghazali, H. M. (2024). Structural behavior of precast deep beams incorporating steel wire and recycled concrete aggregates. *Journal of Building Engineering*, 82, 107356.
- [9] Guo, Z., Tu, A., Chen, C., & Lehman, D. E. (2018). Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 199, 136-149.
- [10] Tam, V. W., Soomro, M., & Evangelista, A. C. J. (2018). A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017). *Construction and Building Materials*, 172, 272-292.
- [11] Xie, J., Zhao, J., Wang, J., Wang, C., Huang, P., & Fang, C. (2019). Sulfate resistance of recycled aggregate concrete with GGBS and fly ash-based geopolymer. *Materials*, 12(8), 1247.
- [12] Fayed, M. E., & Mansour, W. N. (2023). Behavior of reinforced concrete columns with waste plastic fibers exposed to elevated temperatures. *Journal of Building Engineering*, 75, 106741.
- [13] Naser, M. Z., Hawileh, R. A., & Abdalla, J. A. (2025). Fiber-reinforced polymer strengthening of reinforced concrete corbels with recycled concrete aggregates. *Journal of Building Engineering*, 88, 108123.
- [14] Kou, S. C., & Poon, C. S. (2015). Effect of the quality of parent concrete on the properties of high performance recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 77, 501-508.
- [15] Aslani, F., Ma, G., Wan, D. L. Y., & Muselin, G. (2018). Development of high-performance self-compacting concrete using waste recycled concrete aggregates and rubber granules. *Journal of Cleaner Production*, 182, 553-566.

- [16] Tošić, N., Marinković, S., Dašić, T., & Stanić, M. (2015). Multicriteria optimization of natural and recycled aggregate concrete for structural use. *Journal of Cleaner Production*, 87, 766-776.
- [17] Alexa-Stratulat, M., Boboc, R., Corobceanu, V., Țăranu, N., & Lupășteanu, V. (2024). Mechanical properties of concrete with expanded perlite aggregate exposed to elevated temperatures. *Journal of Building Engineering*, 80, 107123.
- [18] Erdem, T. K., Meral, Ç., Tokyay, M., & Erdoğan, T. Y. (2017). Use of perlite as a pozzolanic addition in producing blended cements. *Cement and Concrete Composites*, 29(1), 13-21.
- [19] Topçu, İ. B., & Işıkdağ, B. (2018). Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete. *Journal of Materials Processing Technology*, 204(1-3), 34-38.

FORENSIC DNA ANALYSIS AND IDENTIFICATION OF A DECEASED PERSON

FORENSİK DNT ANALİZİ VƏ ÖLƏN ŞƏXSİN MÜƏYYƏNLƏŞDİRİLMƏSİ

Aytac AZIMOVA

Odclar Yurdu University, Faculty of Nature and Technology

ABSTRACT

Forensic DNA analysis, a branch of genetics, plays a key role in the investigation of biological identity by law enforcement agencies, as well as in other forensic sciences. Such methods are considered indispensable tools, especially in the search for identities in cases involving deceased persons, in solving serious crimes and in the search for missing persons after mass disasters. Modern forensic genetics allows obtaining accurate and verifiable results with high-precision molecular analysis.

The history of forensic DNA analysis dates back to the end of the twentieth century. The idea of "DNA fingerprinting" was introduced to the public in 1984 by the English geneticist Sir Alec Jeffrey. Jeffrey showed that certain regions of DNA, known as repeat sequences, are unique to each individual and are important in forensic genetics. Its first successful use was in a 1986 double murder case in the United Kingdom, where forensic DNA analysis enabled the exoneration of a wrongly accused person while simultaneously identifying the real perpetrator.

Short Tandem Repeats (STRs) are used primarily in the forensic identification of deceased individuals. STR markers are highly polymorphic nucleotide sequences, making them useful in identifying genetic differences between individuals. A genetic profile is created by amplifying DNA extracted from the remains of a deceased individual, such as bone tissue, teeth, soft tissue, hair follicles, or blood, using polymerase chain reaction (PCR). The genetic profile is then checked against DNA databases.

Forensic DNA analysis differs from traditional or general DNA analysis in several ways. For example, while traditional DNA analysis focuses on health risks or genealogical purposes, the primary reason or focus of DNA analysis in a forensic context is identification. In addition, while traditional DNA analysis is governed by protocols, DNA analysis in a forensic context is governed by strict procedures, including internationally recognized standards. The results of DNA analysis in a forensic context have the scientific integrity to be considered as evidence in court.

In cases where DNA is not of high quality, such as long-buried remains or fire victims, mitochondrial DNA, or mtDNA, can be used. Since more than one copy of mtDNA is found in each cell, it has a higher chance of being extracted, especially in difficult circumstances. STR analysis of the Y chromosome is also used to determine paternal relationships, especially in cases where the DNA is in the male line.

The application of forensic DNA is important in the investigation of sex crimes. In cases of rape and sexual assault, a sample of sperm, blood and epithelial cells obtained from the crime scene or from the victim is used to create a genetic identification profile of the perpetrator. This ensures that the suspect is found and that no innocent person is wrongly accused. The use of mixed DNA samples requires high accuracy in short tandem repeat analyses.

At the current stage of scientific development, forensic DNA analysis is carried out in various places: in crime laboratories, crime scene facilities, police forensic departments and international identification facilities. The FBI's CODIS database in the USA and the DNA banks in various European countries significantly promote the development of forensic DNA analysis. The above-mentioned facilities use automated systems for DNA analysis, as well as modern genetic equipment.

Forensic DNA analysis ultimately represents a scientifically supported tool for post-mortem identification, as well as for solving serious and sexual crimes. The rapidly expanding frontiers of genetic research ensure that what can be achieved in these processes are constantly expanding and promise that forensic science will develop even further in the future.

Keywords: Forensic genetics, DNA analysis, deceased person identification, STR markers, sexual crimes.

XÜLASƏ

Genetikanın bir qolu olan forensik DNT analizi, hüquq-mühafizə orqanları tərəfindən aparılan araşdırmalarda, eləcə də digər məhkəmə tibb elmlərində bioloji şəxsiyyətin müəyyən edilməsi üçün əsas rol oynayır. Bu cür üsullar, xüsusən də ölənlərlə bağlı işlərdə şəxsiyyətlərin axtarışında, ağır cinayətlərin həllində və kütləvi fəlakətlərdən sonra itkin düşmüş şəxslərin axtarışında əvəzolunmaz vasitələr hesab olunur. Müasir məhkəmə genetikası yüksək dəqiqlikli molekulyar analizlərlə təsdiqlənə bilən və dəqiq nəticələr əldə etməyə imkan verir.

Kriminalistika DNT analizinin tarixi iyirminci əsrin sonlarına gedib çıxır. "DNT barmaq izi" ideyası 1984-cü ildə ingilis genetikisi Ser Alek Cefri tərəfindən ictimaiyyətə təqdim edilmişdir. Cefri göstərmişdir ki, təkrarlanan ardıcılıqlar kimi tanınan DNT-dəki müəyyən bölgələr hər bir fərd üçün unikaldir və məhkəmə genetikasında iz buraxır. Onun ilk uğurlu istifadəsi 1986-cı ildə Böyük Britaniyada baş vermiş ikiqat qətl hadisəsində forensik DNT analizlərinin tətbiqi nəticəsində yanlış ittiham irəli sürülmüş şəxs günahsız hesab edilmiş, eyni zamanda cinayəti törətmiş real təqsirkarın identifikasiyası mümkün olmuşdur.

Qısa Tandem Təkrarlamaları (QTT) əsasən ölənlərin məhkəmə tibbi identifikasiyasında istifadə olunur. STR markerləri yüksək səviyyədə polimorfizmə malik nukleotid seqmentləridir və bu da onları insanlar arasında genetik fərqlərin müəyyən edilməsində faydalı edir. Ölənlərin qalıqlarından sümük toxuması, diş toxuması, yumşaq toxuma, saç follikulları və ya qan şəklində çıxarılan DNT-nin polimeraza zəncirvari reaksiyası (PCR) vasitəsilə gücləndirilməsi yolu ilə genetik profil yaradılır. Daha sonra genetik profil DNT verilənləri bazalarına qarşı yoxlanılır.

Məhkəmə DNT analizi ənənəvi və ya ümumi DNT analizlərindən bir neçə cəhətdən fərqlənir. Məsələn, ənənəvi DNT analizi sağlamlıq üçün təhlükələrə və ya genealoji məqsədlərə yönəlsə də, məhkəmə kontekstində DNT analizinin əsas səbəbi və ya fokusu identifikasiyadır. Bundan əlavə, ənənəvi DNT analizi protokollarla tənzimlənsə də, məhkəmə kontekstində DNT analizi beynəlxalq səviyyədə tanınmış standartlar da daxil olmaqla ciddi prosedurlarla tənzimlənir. Məhkəmə kontekstində DNT analizinin nəticələri məhkəmədə sübut kimi qiymətləndirilmək üçün elmi bütövlüyə malikdir.

DNT-nin yüksək keyfiyyətli olmadığı hallarda, məsələn, uzun müddət basdırılmış qalıqlar və ya yanğından zərər çəkmişlər, mitoxondrial DNT və ya mtDNT kimi hallarda analizdən istifadə etmək olar. Hər hüceyrədə birdən çox mtDNT nüsxəsi tapıldığı üçün, xüsusən də çətin şəraitdə onun çıxarılma şansı daha yüksəkdir. Y xromosomunun STR analizi, xüsusən də DNT-nin kişi xəttinə aid olduğu hallarda, ata əlaqələrinin müəyyən edilməsi üçün də istifadə olunur.

Cinsi cinayətlərin araşdırılmasında məhkəmə DNT-sinin tətbiqi vacibdir. Təcavüz və cinsi təcavüzlərdə cinayət yerindən və ya qurbandan əldə edilən sperma, qan və epitel hüceyrələrinin nümunəsi cinayətkarın genetik identifikasiya profilini yaratmaq üçün istifadə olunur. Bu, şübhəlinin tapılmasını və heç bir günahsız şəxsin haqsız yerə ittiham olunmamasını təmin edir. Qarışıq DNT nümunələrinin istifadəsi qısa tandem təkrar analizlərində yüksək dəqiqlik tələb edir.

Elmi inkişafın hazırkı mərhələsində məhkəmə DNT analizi müxtəlif yerlərdə aparılır: kriminalistika laboratoriyalarında, cinayət yeri müəssisələrində, polisin müayinə şöbələrində və beynəlxalq identifikasiya müəssisələrində. ABŞ-da FTB-nin CODIS verilənlər bazası və müxtəlif Avropa ölkələrində DNT bankı məhkəmə DNT analizinin inkişafını əhəmiyyətli dərəcədə təşviq edir. Yuxarıda qeyd olunan müəssisələrdə DNT analizi üçün avtomatik sistemlər, eləcə də müasir genetik avadanlıqlar istifadə olunur.

Məhkəmə DNT analizi nəticə etibarilə ölümdən sonra şəxsiyyətin müəyyənləşdirilməsinin, eləcə də ağır və cinsi cinayətlərin həllinin elmi cəhətdən dəstəklənən bir alətini təmsil edir. Genetik tədqiqatların sürətlə artan sərhədləri bu proseslərdə əldə edilə biləcək şeylərin daim genişlənməsini təmin edir və gələcəkdə məhkəmə elminin daha da inkişaf edəcəyinə dair vədlər verir.

Açar sözlər: Forensik genetika, DNT analizi, ölmüş şəxsin identifikasiyası, STR markerləri, cinsi cinayətlər.

SEVERE COMBINED IMMUNODEFICIENCY (SCID) AND THE CASE OF DAVID

PHILLIP VETTER “BUBBLE BOY”

SCID VƏ DAVID PHİLLİP VETTER “BUBBLE BOY” HADİSƏSİ

Narmin TANARVERDIYEVA MUSHFIQ

ORCID ID: 0009-0007-7565-3005

Sevinj MAHARRAMOVA TELMAN

ORCID ID: 0009-0004-8016-8301

Odlar Yurdu Universiteti, Bakı, Azərbaycan

XÜLASƏ

SCID-Ağır Kombinə olunmuş immun çatışmazlığı birincili immun çatışmazlıqlarının ən ağır formalarından biridir. SCID adaptiv immun sistemi hüceyrələri olan T və B-limfositlərin müxtəlif səbəblərdən ötürü sayının azalması və ya funksiyasının pozulması ilə xarakterizə edilən genetik xəstəlikdir. Müxtəlif genlərdə (IL2RG, ADA, RAG1 və RAG2) baş verən mutasiyalar səbəb ola bilər. Bu xəstələrin immun sistemi çox zəif inkişaf edir bu da onların orqanizmini xaricdən gələn istənilən infeksiyaya qarşı müdafiəsiz edir. X-SCID zamanı mutasiya “X” xromosomu üzərində yerləşən IL2RG genində baş verir. Bu gen limfosit hüceyrələrinin səthindəki IL-2, IL-4, IL-7, IL-9, IL-15, IL-21 reseptorlarının ortaq struktur vahidi olan “CD132” zülalını kodlayır. Bu zülalın əsas funksiyası sitokinlərdən gələn siqnalların ötürücüsü kimi çıxış etməkdir. IL2RG genində mutasiya baş verdikdə, reseptorlar funksional olmur və nəticədə sitokinlərdən gələn inkişaf və fəaliyyətə dair siqnallar hüceyrə daxilinə ötürülə bilmir. Bu zaman T-limfositlər inkişaf etmir, B-limfositlər isə mövcud olur, amma fəaliyyət göstərmirlər. David Phillip Vetter 21 sentyabr 1971-ci ildə X-SCID ilə dünyaya gəldi. Bu isə onun orqanizmində hər hansı xəstəliklə mübarizə apara biləcək immun sisteminin olmaması demək idi. David Vetter üzərində aparılan testlər nəticəsində onda qoruyucu immun hüceyrələrinin sayının normal səviyyəninə onda birinə bərabər olduğu müəyyən edildi. Onun dünyaya gəldiyi dövrdə SCID üçün yeganə effektiv müalicə metodu uyğun donorun sümük iliği transplantasiyası idi. Amma onun ailəsində David üçün uyğun donor tapılmamışdı. David, onun üçün uyğun donor ya da xəstəliyi üçün müalicə metodu tapılana qədər onu xarici mühitin bütün mikroblarından qoruyacaq xüsusi izolyatorda qaldı. Vəfatına qədər 12 il boyunca steril izolyatorda yaşadığı üçün “Bubble Boy” ləqəbini qazandı. Tədqiqatçılar David Vetter üzərində tez-tez müşahidələr aparırdılar, çünki onun vəziyyəti mikropsuz şəraitdə böyüyən insan orqanizminin inkişafının necə baş verdiyini müşahidə etmək üçün nadir bir fürsət yaradırdı. ABŞ Milli Səhiyyə İnstitutu David Vetterin üzərində aparılan araşdırmalar üçün hər il 200.000 ABŞ dolları məbləğində qrant ayırdı. 1980-ci illərin əvvəlindən artıq uyğunlaşmayan fərdlər arasında sümük iliği transplantasiyası əməliyyatı etmək mümkün idi. Və 1983-cü ildə 12 yaşındakı David Vetter üzərində bacısı Katherinin sümük iliğindən istifadə edərək transplantasiya əməliyyatı edildi. Əməliyyatdan bir neçə ay sonra Vetterin vəziyyəti pisləşməyə başladı, bağırsağ qanaması keçirdi, qan qusdu, şiddətli qarın ağrıları yaşadı və hərarəti 40.6 °C qədər qalxdı. Zamanla simptomları daha da ağırlaşdı

və həkimlər onu müalicə edə bilmək üçün izaliyatorlardan çıxarmaq məcburiyyətində qaldılar. Edilən müdaxilələrin heç biri işə yaramadı və David Vetter 22 fevral 1984cü ildə Texas Uşaq Xəstəxanasında həyatını itirdi. Başlarda ölümünün səbəbinin orqan transplantasiyası rəddi olduğu düşünülürdü. Amma ölümündən sonra Vetterin bədənində autopsiya aparan həkimlər ölüm səbəbinin bacısının sümük iliyində qeyri-aktiv vəziyyətdə olan Epstein-Barr virusu olduğunu aşkar etdilər. Autopsiya zamanı həkimlər həmçinin Vetterin bədənində çox sayda şiş hüceyrələri aşkar etmişdirlər. Bu virus Vetterin bədənində limfomaya (limfa sisteminin hüceyrələrindən başlayan xərçəng növü) yaranmasına səbəb olmuşdu. Və Vetterin bu hadisəsi virusun insanlarda xərçəngə səbəb ola biləcəyini təstiqləyən vacib nümunələrdən biri idi. David Vetter hadisəsi o dönmə üçün qaranlıq olan bir çox elmi sualın cavabı oldu. Yaşadığı dönmədə aparılan tədqiqatlar nəticəsində tam siteril mühitdə və immunitet sistemi olmadan insan orqanizminin inkişafı öyrənilədi. Ölümündən sonra X-SCID xəstəliyinin genetik səbəbəbi IL2RG geni kəşf edildi.

Açar sözlər: SCID, X-SCID, David Phillip Vetter, IL2RG, Epstein-Barr, “Bubble Boy”

ABSTRACT

Severe Combined Immunodeficiency (SCID) is one of the most severe forms of primary immunodeficiency disorders and is characterized by profound defects in cellular and humoral immunity. It results from genetic mutations that impair the development and function of T and B lymphocytes, leaving affected individuals highly susceptible to infections. Among the different types of SCID, X-linked SCID is the most common and is caused by mutations in the IL2RG gene located on the X chromosome. This gene encodes the CD132 protein, a shared subunit of several interleukin receptors essential for lymphocyte development and immune signaling. This study focuses on SCID with particular emphasis on the well-documented case of David Phillip Vetter, widely known as the “Bubble Boy.” Born in 1971 with X-SCID, David lacked a functional immune system and was therefore raised in a completely sterile environment to protect him from infections. His condition provided a unique opportunity to study human development in the absence of immune function. In 1983, David underwent a bone marrow transplantation from his sister, Katherine. However, the transplanted bone marrow contained a latent Epstein–Barr virus (EBV), which was transmitted to David during the procedure. Due to his severely compromised immune system, the virus triggered the development of EBV- associated lymphoma, leading to severe complications and ultimately to his death in 1984. The case of David Vetter contributed significantly to the understanding of SCID, viral oncogenesis, and immune system development. Moreover, posthumous studies led to the identification of the IL2RG gene as the genetic cause of X-SCID, marking an important milestone in immunology and genetic medicine.

Keywords: SCID, X-SCID, David Phillip Vetter, IL2RG, Epstein–Barr virus, Bubble Boy

**THE CORROSION INHIBITION EFFECT OF NITRO PRODUCT–
ETHANOLAMINE COMPLEXES DERIVED FROM THE LIGHT FRACTION OF
COKING IN AN H₂S ENVIRONMENT**

Sara ABBASZADE

Y.H.Mamedaliyev's Institute of Petrochemical Processes
of the Ministry of Science and Education, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-9344-7496>

Ayaz MAMMADOV

Y.H.Mamedaliyev's Institute of Petrochemical Processes
of the Ministry of Science and Education, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-4743-8734>

Saida AHMADBAYOVA

Y.H.Mamedaliyev's Institute of Petrochemical Processes
of the Ministry of Science and Education, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1672-6394>

Rufana ALİZADE

Y.H.Mamedaliyev's Institute of Petrochemical Processes
of the Ministry of Science and Education, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-3400-5381>

Sevda ASADOVA

Y.H.Mamedaliyev's Institute of Petrochemical Processes
of the Ministry of Science and Education, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7630-4997>

ABSTRACT

This piece of work focuses on checking how well certain mixes can protect against rust. These mixes are made from a special substance taken from the lighter part of a process using heat to turn coal into coke, and three substances called MEA, DEA, and TEA, all in places where there is a gas called hydrogen sulfide (H₂S). Because H₂S can really hurt machines and

pipes in the oil and gas business, making them not last as long, it is important to find good ways to stop this from happening.

For this study, the special substance was mixed with MEA, DEA, and TEA in different amounts to make new mixes. Then, these mixes were put into a liquid made of alcohol, either by itself or with water. The ability of these liquids to stop rust was tested in a place with H₂S by measuring how much weight steel pieces lost when the mixes were added at different amounts, from 500 to 2000 mg/L.

The tests showed that how well the mixes worked depended a lot on which of the three substances (MEA, DEA, or TEA) was used, how they were mixed, and how much of the mix was put in the liquid. The mix with TEA worked better than the others. The liquid with the TEA mix (1:1 ratio) protected the steel by 70.4% when 1000 mg/L was added, 83.9% when 1500 mg/L was added, and 91.3% when 2000 mg/L was added. But the mixes with MEA and DEA did not protect as well under the same conditions.

The findings show that mixes with TEA could be a better choice for keeping steel things from rusting in places where there is H₂S, when compared to mixes with MEA or DEA.

Keywords: H₂S environment, corrosion inhibitors, nitro derivatives, steel corrosion, weight loss method

EFFECT OF IMIDAZOLINE BROMIDE COMPLEX BASED ON NORBORN-5-ENE-2-CARBOXYLIC ACID AGAINST H₂S CORROSION

Dr.SC., Prof. Eldar MAMMADBAYLI

Institute of Petrochemical Processes named after acad. Y.H. Mammadaliyev
Ministry of Science and Education of Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan
ORCID ID:<https://orcid.org/0000-0003-0642-6283>

Vafa BABAYEVA

Institute of Petrochemical Processes named after acad. Y.H. Mammadaliyev
Ministry of Science and Education of Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan
ORCID ID:0009-0007-3567-3810

Narmin MAMMADOVA

Institute of Petrochemical Processes named after acad. Y.H. Mammadaliyev
Ministry of Science and Education of Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan
ORCID ID:<https://orcid.org/0009-0003-1653-6213>

Sen.Res. Samira İSMAYILOVA

Institute of Petrochemical Processes named after acad. Y.H. Mammadaliyev
Ministry of Science and Education of Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan
ORCID ID:<https://orcid.org/0000-0001-7399-5510>

Res. Kamila HASANOVA

Institute of Petrochemical Processes named after acad. Y.H. Mammadaliyev
Ministry of Science and Education of Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan
ORCID ID:<https://orcid.org/0009-0007-0870-6197>

ABSTRACT

Hydrogen sulfide corrosion is a phenomenon of damage to metal surfaces caused by hydrogen sulfide, which is widespread in the oil, gas and petrochemical industries. This process poses a very serious threat, especially to steel pipes, pumps and technical devices and equipment. It is of great importance to systematically investigate various aspects of H₂S corrosion, including its sources, corrosion sites, mechanisms, and resulting corrosion products.

First, imidazoline was synthesized from norborn-5-ene-2-carboxylic acid and triethylenetetramine. Then, a complex of imidazoline with hexylbromide in 1:2 molar ratio is

obtained. The bromide complex of imidazoline based on norborn-5-ene-2-carboxylic acid was tested as an anti hydrogen sulfide corrosion inhibitor. The complex was added to a hydrogen sulfide environment at four different concentrations. It was found that the corrosion protection ability of the complex increases with increasing concentration. The complex causes a decrease in the corrosion rate and an increase in the retardation coefficient (Table 1.)

Table 1. Results of the effect of the complex on H₂S corrosion at different concentrations.

Concentration of compounds C, mg/l	Corrosion rate ρ , g/m ² ·hour	Protective effect Z, %	Retardation coefficient γ
Corrosion rate in an inhibitor-free environment $\rho=5.2639$ g/m ² ·hour			
250	1.9923	62	2.64
500	1.8745	64.3	2.80
1000	1.2030	77	4.37
1500	0.1005	98	52.4

According to Table 1, it can be said that while the protective efficiency of the NKT and TETA-based imidazoline bromide complex at a concentration of 250 mg/l was 62%, increasing the concentration to 500, 1000, 1500 mg/l led to an increase in the protective effect of the substance to 64.3; 77 and 98%, respectively. While the corrosion rate for the complex at a concentration of 250 mg/l was 1.9923 g/m²·h, a sharp decrease in the corrosion rate was observed at a concentration of 1500 mg/l (0.1005 g/m²·h). In this case, the value of the retardation coefficient reached its maximum value ($\gamma=52.4$).

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MODERN INDUSTRIAL PRODUCTION

Assoc. Prof. QOCAYEVA ELMIRA MEHEMMED

Azerbaijan State Economic University, Baku, Azerbaijan
ORCID: [0000-0001-8413-4812]

Assoc. Prof. IBRAHIMOVA SADAQAT VELI

Azerbaijan State Oil Industry University, Baku, Azerbaijan
ORCID: [0000-0002-1317-4806]

ABSTRACT

In today's world, artificial intelligence (AI)-based tools and technologies are being implemented in many sectors of the economy. The use of AI has long attracted the interest of specialists across various fields. This is due to the increasing opportunities for implementing AI solutions in businesses, and entrepreneurs' awareness of its advantages, which enable the automation of many business tasks, is growing.

The current stage of industrial development is characterized by the active implementation of digital technologies, among which Industry 4.0 technologies occupy a special place. These technologies are becoming key tools for increasing efficiency, reducing costs, and ensuring the competitiveness of enterprises in a globalized market. Industry 4.0 is based on the integration of digital technologies into production processes and opens up new opportunities for enhancing competitiveness and ensuring sustainable business development. It aims to create "smart factories" capable of self-organization, self-learning, and adaptation to changing conditions. These technologies enable enterprises to become more flexible and adaptive, which, in turn, increases their competitiveness in the global market and ensures sustainable business development. As a result, creating an effective information systems infrastructure is becoming a key factor determining business success in today's marketplace. AI is thus a valuable tool for increasing efficiency, optimizing, and automating many business processes.

As Industry 4.0 advancements are being implemented in industrial manufacturing, artificial intelligence (AI) is becoming increasingly important, becoming an integral element of the modern era, deployed to optimize production processes. Artificial intelligence is rapidly transforming production processes, opening up new opportunities for improving efficiency, productivity, and quality. In this context, AI represents a powerful tool capable of transforming traditional production processes, optimizing them, and making them more adaptive to changing market conditions. The purpose of this article is to examine the potential for using artificial intelligence in production processes, analyze the key issues and challenges that arise, and assess prospects for further development. The novelty of this study lies in its attempt to examine the patterns and trends in the implementation of artificial intelligence technologies in industrial production processes, based on current realities and prospects for further development. The relevance of this work stems from the fact that the introduction of AI into industry not only improves production performance but also opens up new horizons

and opportunities for business. Therefore, this work aims to comprehensively explore the potential of artificial intelligence, enabling not only an assessment of the current state of affairs but also the identification of paths for further development and optimization of production processes. Artificial intelligence technologies continue to evolve, and their impact on various industries will only increase. These technologies offer new opportunities for increased efficiency, decision-making, and innovation.

Keywords: artificial intelligence, AI, AI technologies, AI solutions, industry, industrial enterprises, technological progress, digitalization.

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF POLYUREA THICKNESS ON THE
BALLISTIC PERFORMANCE OF POLYMER/METAL COMPOSITE ARMOR
USING THE FINITE ELEMENT METHOD**

**POLİMER/METAL KOMPOZİT ZIRHLARDA POLİÜRE KALINLIĞININ
BALİSTİK PERFORMANSA ETKİSİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE
İNCELENMESİ**

Dr. Ömer Faruk ÇİÇEK

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0115-5413>

Prof. Dr. Yaşar AYZ

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1089-0700>

ÖZET

Hibrit zırh sistemlerinde Titanyum (Ti6Al4V) plakanın balistik performansını desteklemek amacıyla arka yüzeye uygulanan poliüre katmanının kalınlık varyasyonları, darbe enerjisinin yönetiminde ve plaka bütünlüğünün korunmasında kritik bir rol oynamaktadır. Sayısal analizler sonucunda, titanyum plakanın arkasına uygulanan 2 mm kalınlığındaki poliüre katmanının, merminin çarpma anında oluşan yüksek frekanslı şok dalgalarını sönmlemede ve metalik plakadaki dinamik gerilmeleri sınırlamada yeterli kapasite sunmadığı gözlemlenirken; poliüre kalınlığının 4 mm seviyesine çıkarılmasının, titanyumun darbe etkisini daha geniş bir alana yaymasına olanak tanıdığı ve viskoelastik sönmleme mekanizması sayesinde plakanın arka yüzeyinde meydana gelen kalıcı deformasyonu (BFS) belirgin şekilde azalttığı tespit edilmiştir. 6 mm kalınlığındaki poliüre uygulamasının ise maksimum yapısal destek sağlayarak, titanyum plakadaki parça kopma (spall) riskini minimize ettiği ve mermiden aktarılan kinetik enerjiyi elastomerik fazda plastik şekil değiştirme enerjisine dönüştürerek sistemin toplam durdurma gücünü en üst düzeye çıkardığı akademik olarak değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, titanyumun rijitliği ile poliürenin sünek sönmleme yeteneğinin birleştirildiği bu konfigürasyonda, artan polimer kalınlığının şok dalgası iletimini kontrol altına alarak titanyum plakanın balistik verimliliğini optimize eden temel bir tasarım parametresi olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Titanyum, Poliüre, Balistik Zırh, Sonlu Elemanlar Yöntemi

ABSTRACT

The thickness variations of the polyurethane layer applied to the rear surface of the Titanium (Ti6Al4V) plate used in hybrid armour systems play a critical role in managing impact energy and preserving plate integrity to support the ballistic performance of the plate. Numerical analyses revealed that the 2 mm thick polyurethane layer applied to the back of the titanium plate did not provide sufficient capacity to dampen the high-frequency shock waves generated upon bullet impact and to limit the dynamic stresses in the metallic plate. increasing the polyurethane thickness to 4 mm was found to allow the impact effect of the titanium to spread

over a wider area and significantly reduce the permanent deformation (BFS) occurring on the rear surface of the plate thanks to the viscoelastic damping mechanism. The application of 6 mm thick polyurethane is academically evaluated as providing maximum structural support, minimising the risk of spall in the titanium plate, and maximising the system's total stopping power by converting the kinetic energy transferred from the bullet into plastic deformation energy in the elastomeric phase. Consequently, in this configuration, which combines the rigidity of titanium with the ductile damping capability of polyurethane, it has been determined that the increased polymer thickness is a fundamental design parameter that controls shock wave transmission and optimises the ballistic efficiency of the titanium plate.

Keywords: Titanium, Polyurea, Ballistic Armor, Finite Element Method

GİRİŞ

Son zamanlarda, poliüre kaplamaların koruyucu uygulamalarda kullanımı, hafifliği, yüksek mukavemeti, esnekliği, korozyon ve aşınma direnci gibi olağanüstü özelliklerinin yanı sıra darbe azaltma özelliği nedeniyle dikkat çekmiştir (Mcshane et al., 2008; Roland et al., 2010; Xue et al., 2010). Araştırmacılar, hem metal hem de metal olmayan levhalar üzerindeki poliüre kaplamanın kalınlığını (Mohotti et al., 2013, 2014), sertliğini (Mohotti et al., 2015) ve kaplama konumunu (Zhang et al., 2019) incelemiş olup, bu faktörlerin tamponlama ve çekme adsorpsiyon etkileri yoluyla darbe direncini artırmada çok önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Poliüre kaplamanın sert levhaların balistik limitini ve enerji emilimini artırmadaki etkinliği çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Chu et al., 2022; Liu et al., 2021; Sazhenkov et al., 2020; Sun et al., 2021). Sonuç olarak, poliüre kaplamalar koruma alanında umut verici sonuçlar sergilemiş ve gelecekteki uygulamalar için mükemmel beklentiler sunmuştur.

Poliüre ile yapılan sonlu elemanlar yöntemi destekli balistik analizler son yıllarda artış göstermiştir. Örneğin Si vd. (2023), poliüre katmanının seramik/metal zırh sistemlerinin balistik performansı üzerindeki etkilerini hem deneysel hem de sayısal yöntemlerle incelemişlerdir (Si et al., 2023). Araştırmacılar, poliürenin farklı konum ve kalınlıklarının mermi durdurma kapasitesini ve enerji emilimini nasıl değiştirdiğini sistematik bir şekilde analiz etmişlerdir. Bulgular, ön yüzeye uygulanan ince bir poliüre tabakasının seramiğin kırılma modunu değiştirerek ve sınırlama basıncını artırarak zırh korumasını önemli ölçüde güçlendirdiğini göstermektedir. Ancak çalışmada, poliürenin orta katman olarak kullanılmasının korumayı zayıflatabileceği ve kalınlık artışının her zaman doğrusal bir iyileşme sağlamadığı vurgulanmaktadır. Chu vd. (2023) çalışmalarında, poliüre kaplı çelik plakaların balistik ve patlama direncini değerlendirmek amacıyla, kurulan sonlu elemanlar modeli, problemin simetrik yapısı göz önünde bulundurularak yarım model şeklinde kurgulanmış ve analizler ABAQUS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Chu et al., 2023). Modelde, birinci dereceden indirgenmiş entegrasyona sahip 8 düğümlü katı elemanlar kullanılmış; mermi (FSP) ile darbe bölgelerinde 0,3 mm gibi oldukça hassas, uzak bölgelerde ise 3 mm nominal kenar uzunluklarına sahip bir ağ (mesh) yapısı tercih edilmiştir. Plaka ve kaplama kalınlığı boyunca en az 6 katman eleman bulunması sağlanarak kalınlık yönündeki deformasyonların doğruluğu korunmuş; çelik malzeme Johnson-Cook mukavemet ve hasar modeliyle, poliüre ise hiperelastik ve viskoplastik bileşenlerden oluşan özel bir bünye denklemiyle tanımlanmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemi, yüksek maliyetli deneysel testlere gerek duyulmadan karmaşık yapılu mühendislik problemlerinin analizinde sıklıkla kullanılmaktadır. Önümüzdeki yıllarda,

birçok yerde sonlu elemanlar yönteminin katkılarını hem zaman hem maliyet hem de iş gücü kazancı olarak görmek mümkün olacaktır.

MALZEME VE YÖNTEM

Titanyum

Günümüzde düşük ağırlıkta yüksek mukavemet ve olağanüstü korozyon direnci gibi istisnai özellikler gösteren titanyum ve alaşımları, koruyucu yapılarda sıklıkla kullanılabilir bir duruma gelmiştir (Rahimijonoush & Bayat, 2020). Sonlu eleman analizlerinde kullanılan titanyum plakaya ait mekanik özellikler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Ti6Al4V malzeme modeline ait mekanik özellikler

Özellik	Değer	Birim
Özgül ısı sabit basınç (C)	525	J/kg.C
Başlangıç akma gerilmesi (Y)	1,33E+09	Pa
Maksimum akma gerilmesi (Y _{max})	2,12E+09	Pa
Sertleşme sabiti (B)	12	
Sertleşme üssü (n)	0,1	
Erime sıcaklığı	1836,9	°C
Kayma modülü	4,19E+10	Pa
Gruneisen katsayısı	1,23	
Parametre (C1)	5130	m/s
Parametre (S1)	1,028	
Parametre (S2)	0	s/m

Poliüre

Poliüre, mermilerin ve yüksek hızlı parçacıkların kinetik enerjisini emme konusundaki üstün yeteneği sayesinde balistikte yaygın olarak kullanılır. Çarpışma esnasında darbe etkisiyle kauçuksu halden camsı bir faza geçerek enerji sönmüleme kapasitesini en üst düzeye çıkarır. Metal ve kompozit yapılarda kırılma ve çatlama oluşumunu geciktiren bu malzeme, aynı zamanda penetrasyon sırasında etrafa yayılabilecek şarapnel parçalarını kendi içinde hapsederek ikincil yaralanmaları önleyen bir güvenlik kalkanı işlevi görür. Sonlu eleman analizlerinde kullanılan Poliüre tabakaya ait teknik özellikler Tablo 2’de gösterilmiştir.

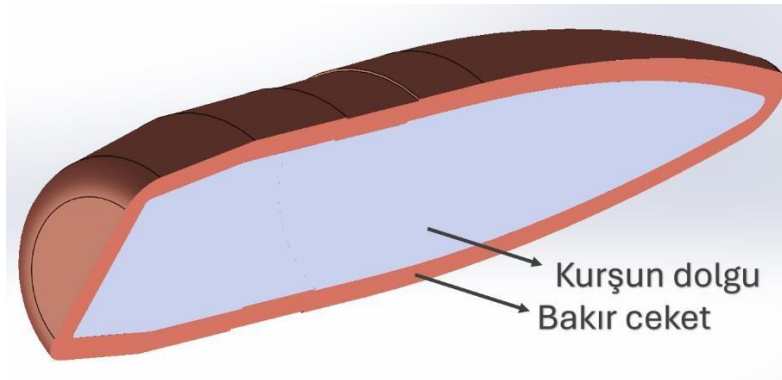
Sonlu eleman analizinde kullanılan poliüre tabaka kalınlıkları 2, 4 ve 6 mm olarak seçilmiştir.

Tablo 2. Poliüreyeye ait mekanik özellikler

Özellik	Değer	Birim
Elastisite Modülü, E	245	MPa
Poisson Oranı, ν	0,41	-
Bulk Modülü, K	$4,537 \times 10^8$	Pa
Kayma Modülü, G	$8,6879 \times 10^7$	Pa

7.62x51 mm M80 tipi FMJ mermi

Sonlu eleman analizlerinde kullanılacak olan 7.62x51 mm kalibreli merminin iç çekirdeği kurşun dolgu ve dış kaplaması ise bakır ceketten oluşmaktadır. Söz konusu mermiye ait iç çekirdek ile dış ceketin Solidworks programında birbiriyle montajlanmış halinin kesiti Şekil 1’de gösterilmiştir.

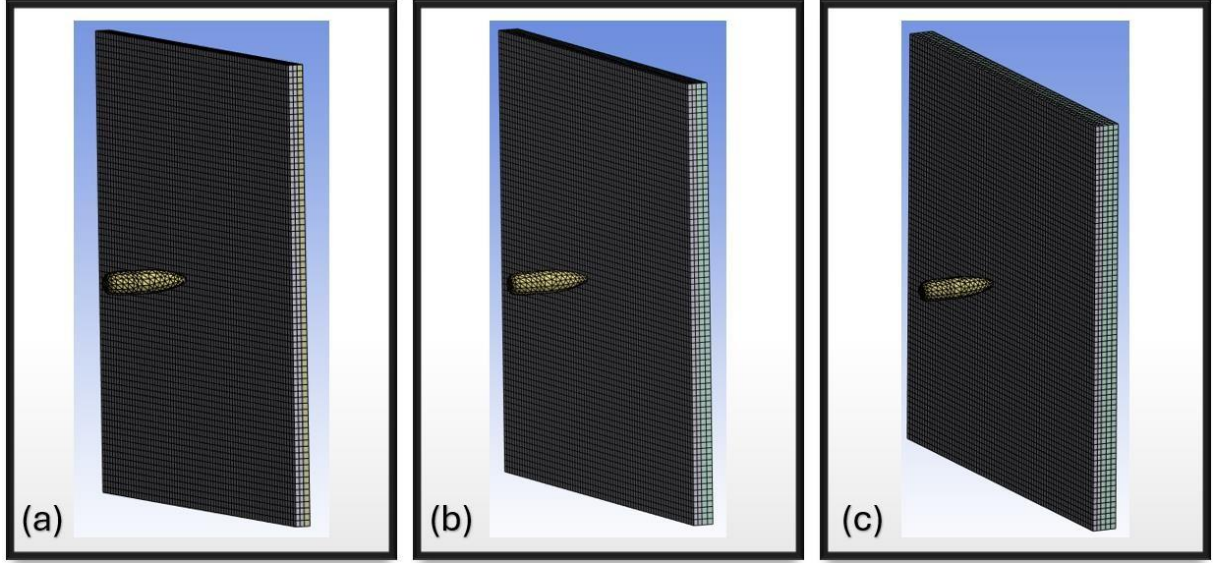


Şekil 1. 7.62 × 51 mm FMJ M80 mermi Solidworks model kesiti

Sonlu Elemanlar Metodu (FEM)

Sonlu Elemanlar Yöntemi, karmaşık mühendislik yapılarını ve fiziksel problemleri daha basit, sonlu sayıda küçük elemanlara bölerek çözen sayısal bir analiz yöntemidir. Bu yöntemle her bir parçadaki fiziksel değişimler matematiksel denklemlerle ifade edilir ve ardından tüm sistemin genel davranışı bu parçaların birleştirilmesiyle yüksek hassasiyetle tahmin edilir.

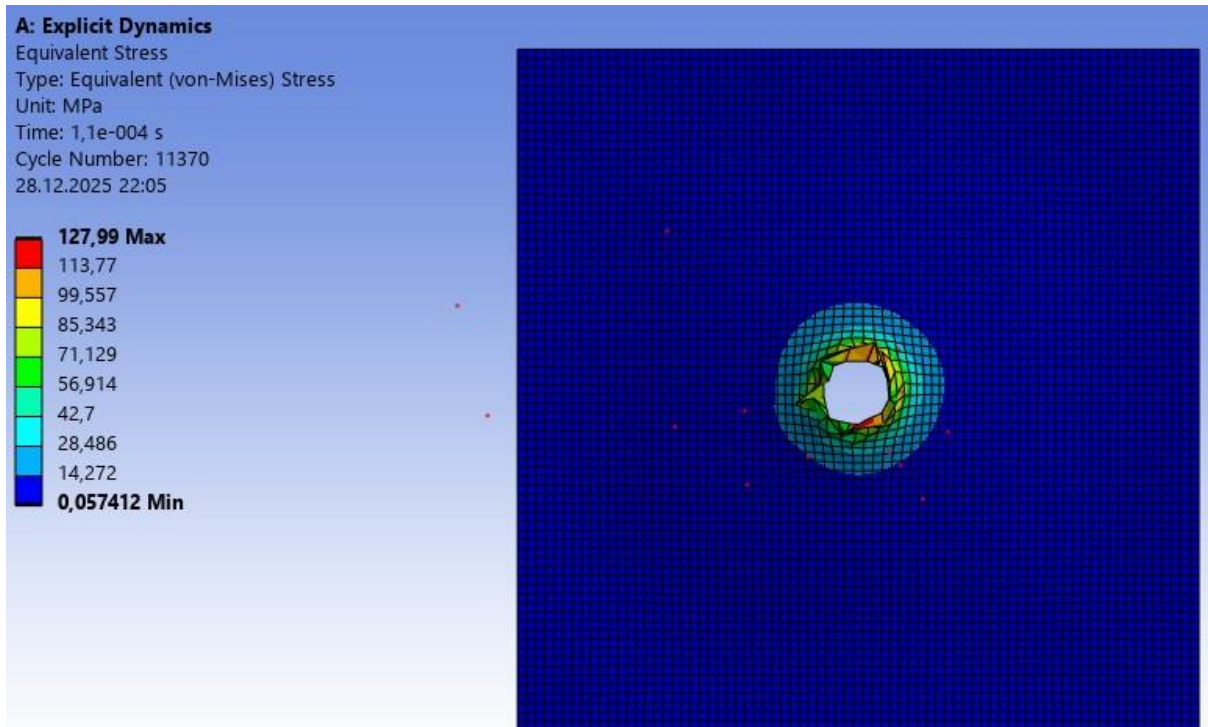
Bu çalışmada, 150 × 150 mm boyutlarında modellenen titanyum (Ti6Al4V) levha ile poliüre tabakalar birbiri ile montajlanarak çarpmaya uygun hale getirilmiştir. 3 mm kalınlıklı titanyum levhanın arka yüzüne sırasıyla 2 mm, 4 mm ve 6 mm poliüre tabakaları montajlanarak 3 farklı türde kompozit zırh oluşturulmuştur. Her zırh 7.62 × 51 mm FMJ mermi ile montajlanarak Ansys/Explicit Dynamics programında içeri aktarılmıştır. 2 mm mesh boyutu seçilerek tüm modeller sonlu elemanlara bölünmüştür. Analize hazır hale getirilen 3 adet kompozit zırh numuneleri ve mermi modelleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



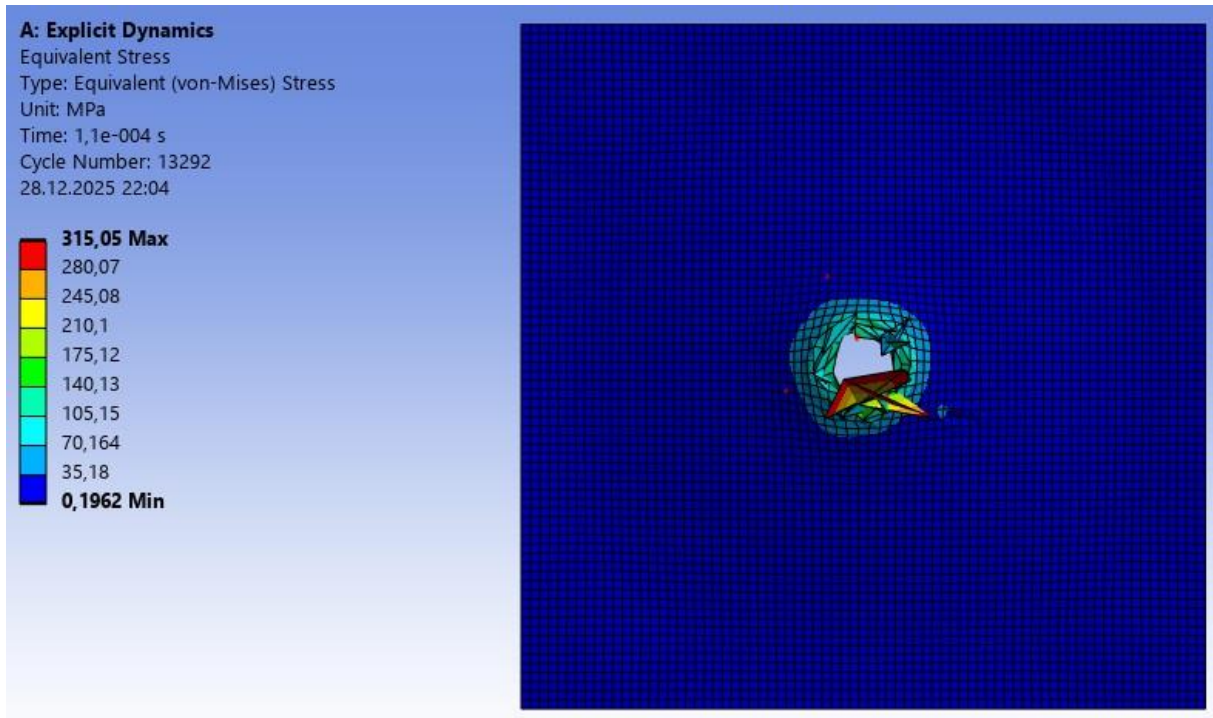
Şekil 2. Sonlu elemanlara bölünmüş 3 boyutlu modeller (a) titanyum ve 2 mm kalınlıklı poliüre, (b) titanyum ve 4 mm kalınlıklı poliüre, (c) titanyum ve 6 mm kalınlıklı poliüre

SAYISAL SONUÇLAR

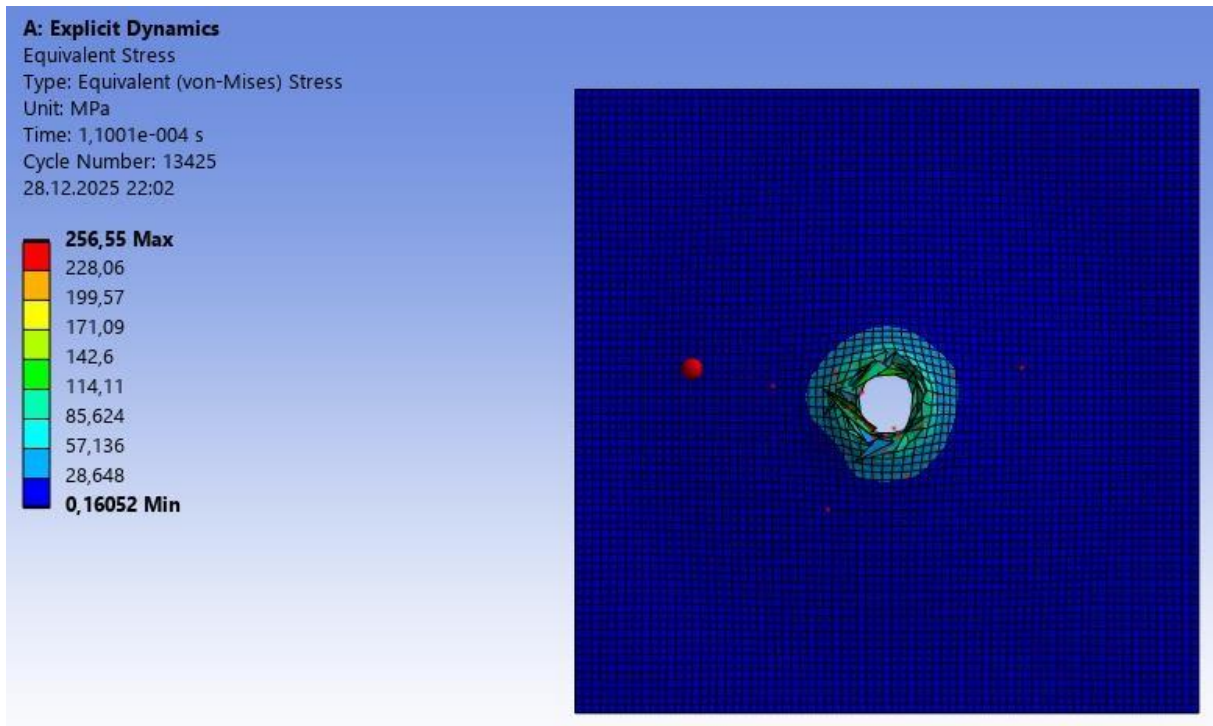
Sayısal analizlerde kullanılan mermi çekirdeği “-z” yönünde 838 m/s hızla kompozit zırhlara çarptırılmıştır. Çarpışma sonucunda tüm zırh modelleri delinerek merminin zırh arka tarafına geçtiği görülmüştür. Çarpışma sonrasında arka yüzeylerde bulunan poliüre tabakalarının delinme durumu ve eşdeğer Von-Mises gerilme görüntüleri sırasıyla Şekil 3-5’te gösterilmiştir.



Şekil 3. 2 mm kalınlıklı poliüre tabaka arka yüzeyine ait Eşdeğer Von-Mises Gerilmesi



Şekil 4. 4 mm kalınlıklı poliüre tabaka arka yüzeyine ait Eşdeğer Von-Mises Gerilmesi



Şekil 5. 6 mm kalınlıklı poliüre tabaka arka yüzeyine ait Eşdeğer Von-Mises Gerilmesi

SONUÇ VE TARTIŞMA

Sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirilen analizler sonucunda, arka yüzde yer alan 2 mm, 4 mm ve 6 mm poliüre tabakalarına ait Eşdeğer Von-Mises maksimum gerilmeleri sırasıyla 127.99, 315.05 ve 256.55 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu değerlere bakıldığında, 4 mm poliüre tabakaya sahip zırhın en yüksek gerilme değerine ulaştığı anlaşılmaktadır. 6 mm kalınlıklı poliürenin gerilme değeri, 4 mm olana göre yaklaşık %18.57 oranında düşmüştür. Chu ve ark. (Chu et al., 2022) ile Si ve ark.'nın (Si et al., 2023) çalışmaları, poliürenin belirli bir kalınlığa kadar artmasının kritik bir güçlendirme sağladığını, ancak sonrasında verimliliğin düştüğünü veya "doyuma" ulaştığını açıkça ifade etmektedir. Dolayısıyla poliüre kalınlığının artırılmasının performansı bir noktaya kadar iyileştirdiği ancak belirli bir eşikten sonra bu artışın sınırlı fayda sağladığı, hatta performansı olumsuz etkileyebildiği sonucuna varılmıştır.

REFERENCES

- Chu, D., Li, Z., Yao, K., Wang, Y., Tian, R., Zhuang, Z., & Liu, Z. (2022). International Journal of Impact Engineering Studying the strengthening mechanism and thickness effect of elastomer coating on the ballistic-resistance of the polyurea-coated steel plate. *International Journal of Impact Engineering*, 163(February 2021), 104181. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2022.104181>
- Chu, D., Wang, Y., Yang, S., Li, Z., Zhuang, Z., & Liu, Z. (2023). Analysis and design for the comprehensive ballistic and blast resistance of polyurea-coated steel plate. *Defence Technology*, 19, 35–51. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2021.11.010>
- Liu, Q., Guo, B., Chen, P., Su, J., Arab, A., & Ding, G. (2021). Thin-Walled Structures Investigating ballistic resistance of CFRP / polyurea composite plates subjected to ballistic impact. *Thin-Walled Structures*, 166(May), 108111. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.108111>
- Mcshane, G. J., Stewart, C., Aronson, M. T., Wadley, H. N. G., Fleck, N. A., & Deshpande, V. S. (2008). *International Journal of Solids and Structures Dynamic rupture of polymer – metal bilayer plates*. 45, 4407–4426. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2008.03.017>
- Mohotti, D., Ngo, T., Mendis, P., & Raman, S. N. (2013). Polyurea coated composite aluminium plates subjected to high velocity projectile impact. *Materials and Design*, 52, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.05.060>
- Mohotti, D., Ngo, T., Raman, S. N., Ali, M., & Mendis, P. (2014). Plastic deformation of polyurea coated composite aluminium plates subjected to low velocity impact. *JOURNAL OF MATERIALS&DESIGN*, 56, 696–713. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.11.063>
- Mohotti, D., Ngo, T., Raman, S. N., & Mendis, P. (2015). Analytical and numerical investigation of polyurea layered aluminium plates subjected to high velocity projectile impact. *JOURNAL OF MATERIALS&DESIGN*, 82, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.05.036>
- Rahimijonoush, A., & Bayat, M. (2020). Experimental and numerical studies on the ballistic impact response of titanium sandwich panels with different facesheets thickness ratios. *Thin-Walled Structures*, 157(August), 107079. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107079>

- Roland, C. M., Fragiadakis, D., & Gamache, R. M. (2010). Elastomer – steel laminate armor. *Composite Structures*, 92(5), 1059–1064. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.09.057>
- Sazhenkov, N. A., Semenov, S. V., Voronov, L. V., Kurakin, A. D., Nikhamkin, M. S., Baxevanakis, K., Roy, A., Stergiou, T., & Silberschmidt, V. V. (2020). Polyurea-coated glass-fibre-reinforced laminate under high-speed impact: experimental study. *Procedia Structural Integrity*, 28, 1572–1578. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.10.129>
- Si, P., Liu, Y., Yan, J., Bai, F., Shi, Z., & Huang, F. (2023). Effect of polyurea layer on ballistic behavior of ceramic / metal armor. *Structures*, 48(January), 1856–1867. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.089>
- Sun, Y., Wang, X., Ji, C., Zhao, C., Liu, P., & Meng, L. (2021). Experimental investigation on anti-penetration performance of polyurea-coated ASTM1045 steel plate subjected to projectile impact. *Defence Technology*, 17(4), 1496–1513. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2020.08.005>
- Xue, L., Mock, W., & Belytschko, T. (2010). Mechanics of Materials Penetration of DH-36 steel plates with and without polyurea coating. *Mechanics of Materials*, 42(11), 981–1003. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2010.08.004>
- Zhang, P., Wang, Z., Zhao, P., Zhang, L., Jin, X. C., & Xu, Y. (2019). Experimental investigation on ballistic resistance of polyurea coated steel plates subjected to fragment impact. *Thin-Walled Structures*, 144(July), 106342. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106342>

THE EFFECT OF POLYUREA LAYER POSITION ON BALLISTIC PROTECTION PERFORMANCE IN HYBRID ARMOR SYSTEMS: A NUMERICAL APPROACH

HİBRİT ZIRH SİSTEMLERİNDE POLİÜRE TABAKA KONUMUNUN BALİSTİK KORUMA PERFORMANSINA ETKİSİ: SAYISAL BİR YAKLAŞIM

Dr. Ömer Faruk ÇİÇEK

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0115-5413>

Prof. Dr. Yaşar AYAZ

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1089-0700>

ÖZET

Modern savunma sistemlerinde hafiflik ve yüksek balistik koruma ihtiyacı, hibrit zırh yapılarının kullanımını artırmıştır. Bu tür hibrit yapılarda poliüre, yüksek gerilme hızı hassasiyeti ve dinamik yükler altında sergilediği faz geçişi özellikleri sayesinde kritik bir enerji sönmüleyici katman olarak öne çıkmaktadır. Poliürenin mermi çarpması gibi aşırı yüksek hızlarda kauçuksu halden camsı hale geçmesi, darbe enerjisinin yanal olarak yayılmasını sağlayarak ana zırh plakasının hasarını azaltmaktadır.

Bu çalışma, hibrit bir zırh sisteminde poliüre tabakasının konumunun (ön veya arka) balistik koruma performansı üzerindeki etkisini sayısal bir yaklaşımla incelemektedir. Poliürenin hiper-viskoelastik davranışını ve yüksek gerilme hızlarındaki dinamik tepkisini doğru modellemek amacıyla gelişmiş yapısal denklemler kullanılarak sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Sayısal analiz sonuçları, poliüre tabakasının konumunun mermi nüfuz direnci ve enerji sönmüleme mekanizmaları üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir.

Poliürenin zırhın en arka yüzeyine yerleştirilmesi durumunda metal tabakalardaki boğazlanma sürecini geciktirerek enerji emilimini artırdığı ve ikincil hasarları tutmada üstünlük sağladığı görülmüştür. Öte yandan, seramik tabanlı sistemlerde poliürenin darbe tarafına (ön yüze) yerleştirilmesinin seramik koni hacmini koruyarak mermi aşınma süresini uzattığı ve tepe gerilmelerini dağıttığı saptanmıştır. Çalışma kapsamında poliürenin dinamik faz geçişi ve tabaka düzeninin mermi durdurma gücü üzerindeki kritik rolü analiz edilerek, farklı tehdit seviyelerine yönelik en verimli hibrit zırh konfigürasyonları araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, zırh tasarımlarında poliüre katmanının sadece bir kaplama değil, şok dalgası yönetiminde aktif bir mühendislik bileşeni olarak kullanılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit Zırh, Poliüre, Balistik Performans, Sonlu Elemanlar Yöntemi

ABSTRACT

In modern defence systems, the need for lightness and high ballistic protection has increased the use of hybrid armour structures. In such hybrid structures, polyurea stands out as a critical energy-absorbing layer due to its high stress rate sensitivity and phase transition properties under dynamic loads. Polyurea's transition from a rubbery state to a glassy state at extremely high speeds, such as during bullet impact, allows the impact energy to be dissipated laterally, reducing damage to the main armour plate.

This study investigates the effect of the position of the polyurea layer (front or rear) in a hybrid armour system on ballistic protection performance using a numerical approach. Finite element analyses were performed using advanced structural equations to accurately model the hyper-viscoelastic behaviour of polyurea and its dynamic response at high strain rates. The numerical analysis results show that the position of the polyurea layer plays a decisive role in bullet penetration resistance and energy dissipation mechanisms.

It has been observed that placing polyurea on the rear surface of the armour delays the choking process in the metal layers, thereby increasing energy absorption and providing superior protection against secondary damage. On the other hand, in ceramic-based systems, it has been determined that placing polyurea on the impact side (front surface) extends the bullet wear time by preserving the ceramic cone volume and distributes peak stresses. Within the scope of the study, the critical role of polyurea's dynamic phase transition and layer arrangement on bullet stopping power was analysed, and the most efficient hybrid armour configurations for different threat levels were investigated. The findings highlight the importance of using the polyurea layer in armour designs not merely as a coating but as an active engineering component in shock wave management.

Keywords: Composite Armor, Polyurea, Ballistic Performance, Finite Element Method

GİRİŞ

Modern savunma sistemlerinde personel ve araçların korunması, mühimmat teknolojisindeki ilerlemelere paralel olarak hem hafif hem de yüksek durdurma gücü sunan yeni nesil zırh yapılarının geliştirilmesini zorunlu kılmıştır (Alexe vd., 2026). Geleneksel monolitik metalik zırhlar yüksek balistik koruma sağlarlar da, aşırı ağırlıkları nedeniyle askeri araçların mobilitesini kısıtlamakta ve operasyonel verimliliği düşürmektedir (Si, 2023). Bu kısıtlamaları aşmak amacıyla geliştirilen hibrit zırh sistemleri, mermiyi deforme eden yüksek sertlikteki seramikler ile darbe enerjisini sönümleyen sünek metal veya lifli kompozit tabakaları bir araya getirerek sinerjik bir koruma mekanizması oluşturmaktadır (Alam ve Aboagye, 2024; Samiee vd., 2010).

Son yıllarda, izosiyanat prepolimeri ile amin bileşiğinin hızlı reaksiyonu ile sentezlenen elastomerik bir kopolimer olan poliüre, bu tür hibrit zırh konfigürasyonlarında kritik bir bileşen olarak öne çıkmıştır (Bai vd., 2016; Raman vd., 2012). Poliüre, yüksek tokluk-yoğunluk oranı, olağanüstü enerji sönümleme kapasitesi ve neme karşı direnci sayesinde askeri yapıların, araçların ve kaskların patlama ile mermi darbelerine karşı güçlendirilmesinde yaygın olarak araştırılmaktadır (Zhang vd., 2022). Malzemenin enerji emme yeteneği, mikro yapısındaki sert ve yumuşak segmentlerin ayrışmasıyla oluşan nano-kompozit benzeri morfolojisinden kaynaklanmaktadır (Zhang vd., 2022).

Poliürenin balistik korumadaki başarısının temelinde, mekanik özelliklerinin gerilme hızına (strain rate) olan yüksek hassasiyeti yatmaktadır (Mohotti vd., 2014). Poliüre, düşük gerilme hızlarında kauçuksu bir davranış sergilerken, mermi çarpması gibi aşırı yüksek gerilme hızlarında camsı bir faza geçiş yapar (Grujicic vd., 2010; Roland vd., 2010). Bu darbe kaynaklı cam geçişi sırasında, merminin kinetik enerjisi polimer zincirlerinin iç sürtünmesi yoluyla mikrosaniyeler mertebesinde ısıya dönüştürülerek dağıtılır (Grujicic vd., 2010). Bu dinamik tepki, poliürenin Young modülünü GPa seviyelerine çıkararak darbe enerjisinin yanal olarak yayılmasını sağlar ve ana zırh plakasındaki yerel gerilmeleri azaltır (Mohotti vd., 2014; Si, 2023).

Hibrit zırh tasarımında poliüre tabakasının konumu, sistemin balistik verimliliği ve hasar modları üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir (He vd., 2023). Literatürdeki çalışmalar, poliürenin metalik plakaların arka yüzeyine (darbe tarafının tersine) uygulanmasının, metalin boğazlanma sürecini geciktirerek enerji emilimini artırdığını ve fragmanları tutmada üstünlük sağladığını göstermektedir (Amini vd., 2010; Xue vd., 2010). Diğer yandan, poliürenin çarpma yüzeyine (ön yüze) yerleştirilmesi, seramik tabanlı sistemlerde merminin çarpma anındaki tepe gerilmelerini yayarak seramiğin ufalanma etkisini geciktirebilmekte ve seramik parçalarını hapsederek mermiyi aşındırma süresini artırabilmektedir (Sarva vd., 2007; Si, 2023). Lifli kompozitlerde ise poliüre kaplamanın darbe tarafında olması, lifler arası sürtünmeyi artırarak balistik limiti %60'a varan oranlarda iyileştirebilmektedir (Li vd., 2024).

DeneySEL balistik testlerin yüksek maliyetli ve tahribatlı doğası, poliürenin hiper-viskoelastik davranışının analizinde gelişmiş sayısal analiz yöntemlerinin kullanımını zorunlu kılmıştır (Samiee vd., 2010). Poliürenin yüksek gerilme hızlarındaki camsı faza geçişini ve non-lineer tepkisini doğru bir şekilde modellemek için genellikle Ogden gibi hiperelastik modeller ile K-BKZ gibi viskoelastik bünye denklemleri kombine edilmektedir (Bai vd., 2016; Gamonpilas ve McCuiston, 2012). Sayısal yaklaşımlar, fiziksel testlerde gözlemlenmesi zor olan şok dalgası yayılımını ve tabakalar arasındaki enerji dağılımını detaylı bir şekilde ortaya koyarak tasarım optimizasyonuna olanak tanır (Alam ve Aboagye, 2024; Mohotti vd., 2014).

Bu bağlamda sunulan çalışma, hibrit zırh sistemlerinde poliüre tabaka konumunun (ön, orta veya arka) balistik koruma performansı üzerindeki etkisini sayısal bir yaklaşımla incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, poliürenin dinamik faz geçişi ve tabaka düzeninin mermi nüfuz direnci üzerindeki kritik rolü analiz edilerek, hafif ve yüksek performanslı hibrit zırh tasarımları için en verimli konfigürasyonlar tartışılacaktır.

MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, hibrit zırh sistemlerinin balistik performansını incelemek amacıyla yüksek mukavemetli bir metal plaka ile elastomerik poliüre tabakadan oluşan kompozit bir yapı sayısal olarak modellenmiştir. Analizlerde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri ve sayısal modelleme metodolojisi aşağıda detaylandırılmıştır.

Titanyum

Savunma sanayiinde düşük yoğunluk, yüksek mukavemet ve yüksek korozyon direnci gibi avantajları nedeniyle titanyum alaşımları zırh sistemlerinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmada kullanılan titanyum plaka, mermi çarpması sırasında oluşan yüksek kinetik enerjisi sönmek ve yapısal bütünlüğü korumak için tasarlanmıştır.

Sayısal modellemede titanyum plakanın mekanik davranışını tanımlamak için yüksek şekil değiştirme hızlarını hesaba katan parametreler kullanılmıştır. Titanyumun sunduğu yüksek

rijitlik, mermi ucunun deforme edilmesinde ve poliüre tabakanın etkin sönümleme yapabilmesi için gerekli olan eğilme direncinin sağlanmasında kritik rol oynamaktadır (Roland vd., 2010). Çalışmada kullanılan titanyum plakaya (Ti6Al4V) ait mekanik özellikler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Ti6Al4V malzeme modeline ait mekanik özellikler

Özellik	Değer	Birim
Özgül ısı sabit basınç (C)	525	J/kg.C
Başlangıç akma gerilmesi (Y)	1,33E+09	Pa
Maksimum akma gerilmesi (Y _{max})	2,12E+09	Pa
Sertleşme sabiti (B)	12	
Sertleşme üssü (n)	0,1	
Erime sıcaklığı	1836,9	°C
Kayma modülü	4,19E+10	Pa
Gruneisen katsayısı	1,23	
Parametre (C1)	5130	m/s
Parametre (S1)	1,028	
Parametre (S2)	0	s/m

Poliüre

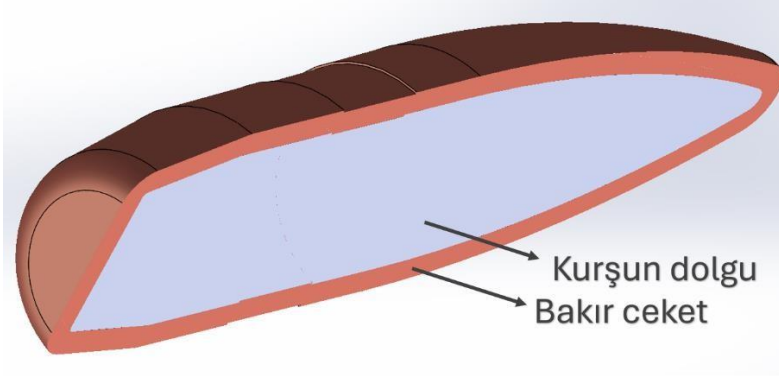
Poliüre, mermilerin ve yüksek hızlı parçacıkların kinetik enerjisini emme konusundaki üstün yeteneği sayesinde balistik çalışmalarda yaygın olarak kullanılır. Çarpışma esnasında darbe etkisiyle elastomerik yapıdan camsı bir faza geçerek enerji sönümleme kapasitesini en üst düzeye çıkarır. Metal-kompozit yapılarda kırılma ve çatlama oluşumunu geciktiren bu malzeme, aynı zamanda penetrasyon sırasında etrafa yayılabilecek şarapnel parçalarını kendi içinde hapsederek ikincil yaralanmaları önleyen bir güvenlik kalkanı işlevi görür. Bu çalışmada kullanılan Poliüre tabakaya ait teknik özellikler Tablo 2’de gösterilmiştir. Poliüre kalınlığı ise önceki analizlerde gözlemlenen en yüksek gerilme değeri olan 4 mm olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Poliüreye ait mekanik özellikler

Özellik	Değer	Birim
Elastisite Modülü, E	245	MPa
Poisson Oranı, ν	0,41	-
Bulk Modülü, K	4,537x10 ⁸	Pa
Kayma Modülü, G	8,6879x10 ⁷	Pa

7.62x51 mm M80 tipi FMJ mermi

Sonlu eleman analizlerinde kullanılacak olan 7.62×51 mm kalibreli merminin iç çekirdeği kurşun dolgu ve dış kaplaması ise bakır ceketten oluşmaktadır. Söz konusu mermiye ait iç çekirdek ile dış ceketin Solidworks programında birbiriyle montajlanmış halinin kesiti Şekil 1’de gösterilmiştir.

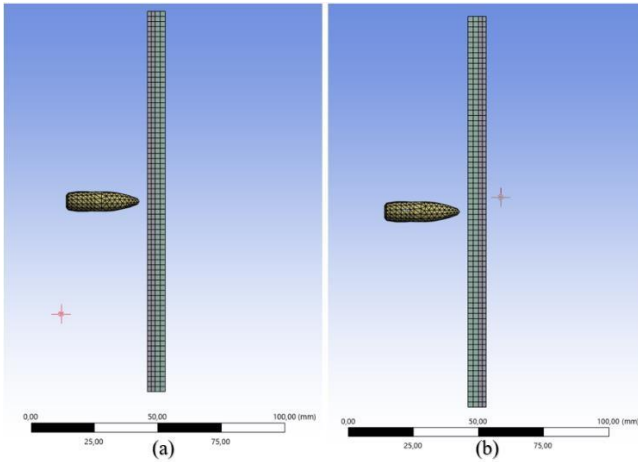


Şekil 1. 7.62×51 mm FMJ M80 mermi Solidworks model kesiti

Sonlu Elemanlar Metodu (FEM)

Sonlu Elemanlar Yöntemi, karmaşık mühendislik yapılarını ve fiziksel problemleri daha basit, sonlu sayıda küçük elemanlara bölerek çözen sayısal bir analiz yöntemidir. Bu yöntemle her bir parçadaki fiziksel değişimler matematiksel denklemlerle ifade edilir ve ardından tüm sistemin genel davranışı bu parçaların birleştirilmesiyle yüksek hassasiyetle tahmin edilir.

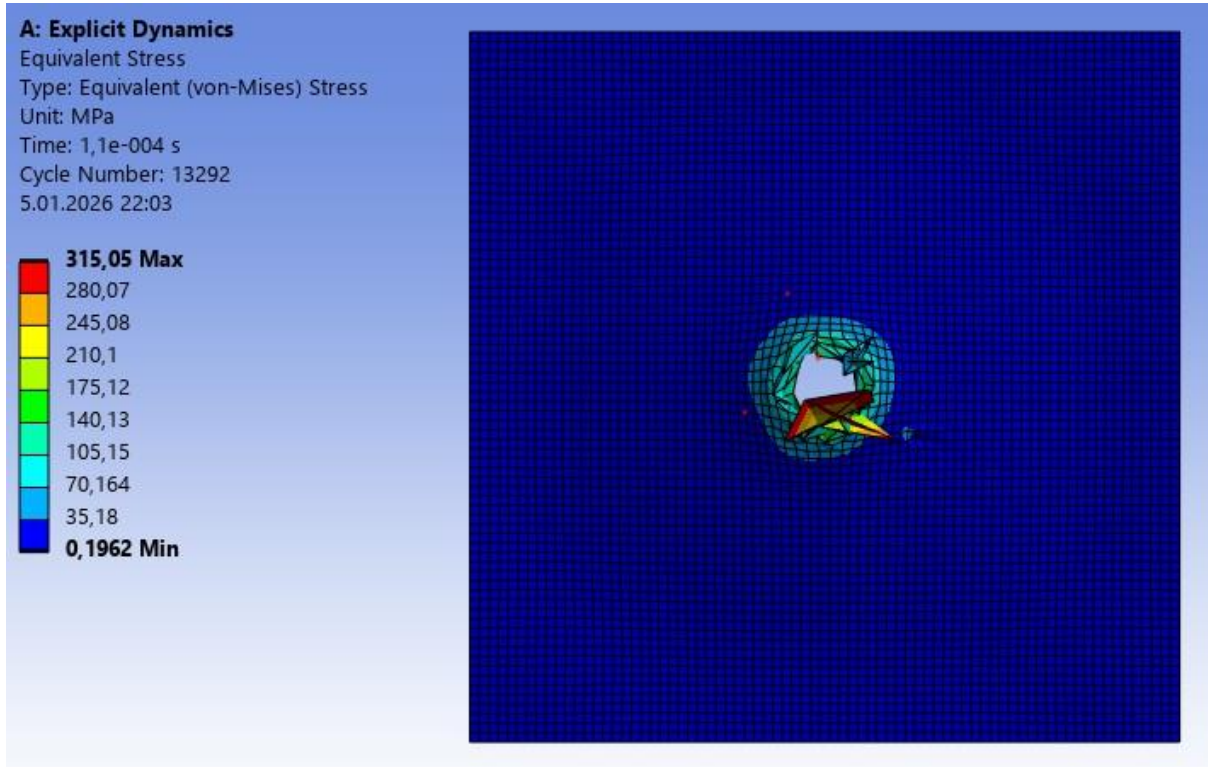
Bu çalışmada, $150 \times 150 \times 3$ mm boyutlarında modellenen titanyum (Ti6Al4V) levha ile yine $150 \times 150 \times 4$ mm boyutlarında poliüre tabakalar birbiri ile montajlanarak çarpmaya uygun hale getirilmiştir. Öncelikle ön yüzeye titanyum levha ve arka yüzeye poliüre tabakanın montajlandığı ilk zırh numunesi hazırlanmıştır. Daha sonra ön yüzüne poliüre tabaka ve arka yüze ise titanyum plakanın montajlandığı ikinci zırh numunesi hazırlanmıştır. Her zırh 7.62×51 mm FMJ mermi ile montajlanarak Ansys/Explicit Dynamics programında analiz edilmek üzere ‘import’ edilmiştir. 2 mm mesh boyutu seçilerek tüm modeller sonlu elemanlara bölünmüştür. Analize hazır hale getirilen 2 adet kompozit zırh numunesi ve mermi modelleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



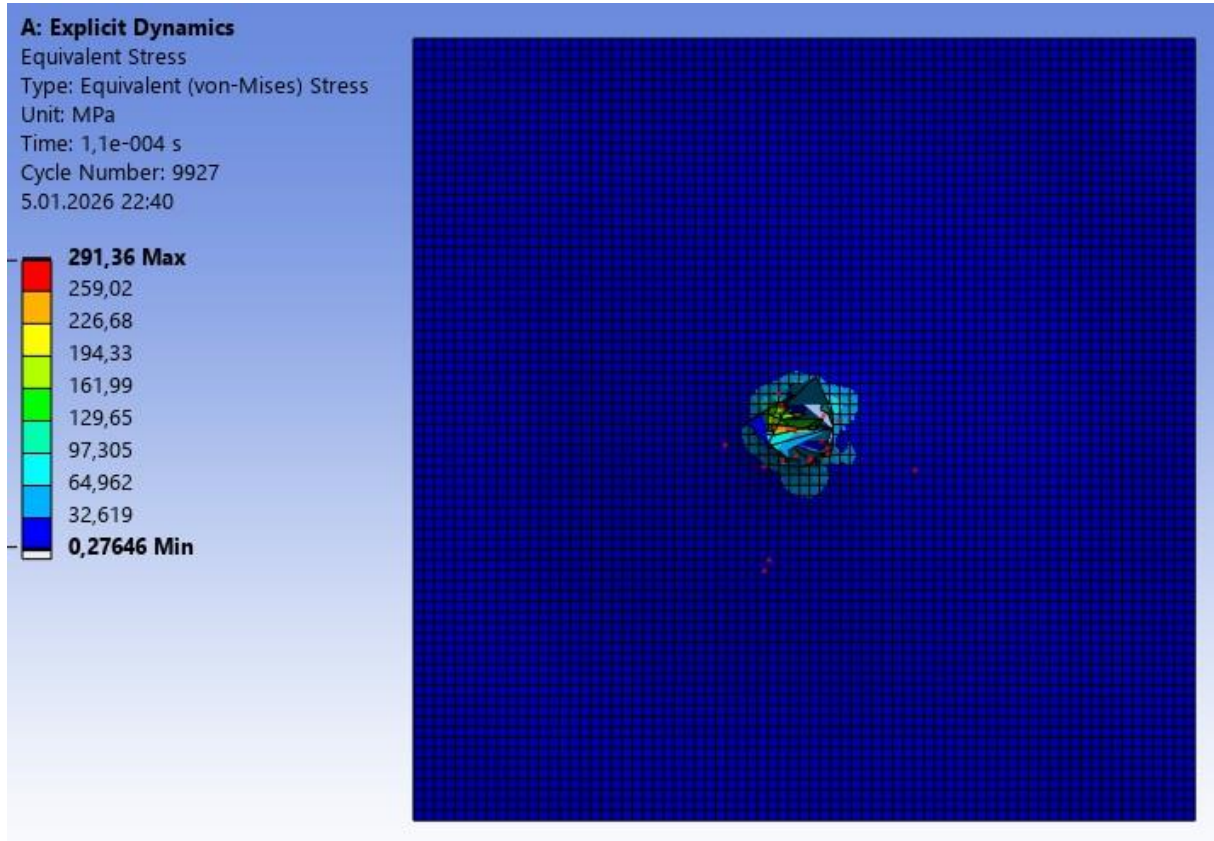
Şekil 2. Sonlu elemanlara bölünmüş 3 boyutlu modeller (a) titanyum ve 4 mm kalınlıklı poliüre (ti+pu) (b) 4 mm kalınlıklı poliüre ve titanyum (pu+ti)

SAYISAL SONUÇLAR

Bu çalışmada 2 farklı kompozit zırh modeli üzerinde sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi ön yüzde 1 adet titanyum plaka ve arkasında 1 adet poliüre tabakadan oluşmaktadır. Bu zırh ‘ti+pu’ şeklinde isimlendirilmiştir. İkincisi ise ön yüzde 1 adet poliüre tabaka ve arkasında 1 adet titanyum plakadan oluşmaktadır. Bu zırh ise ‘pu+ti’ olarak isimlendirilmiştir. Sayısal analizlerde kullanılan mermi çekirdeği “-z” yönünde 838 m/s hızla kompozit zırhlara çarptırılmıştır. Çarpışma sonucunda tüm zırh modelleri delinerek merminin zırh arka tarafına geçtiği görülmüştür. Çarpışma sonrasında arka yüzeylerde bulunan poliüre tabakalarının delinme durumu ve eşdeğer Von-Mises gerilme görüntüleri sırasıyla Şekil 3-4’te gösterilmiştir.

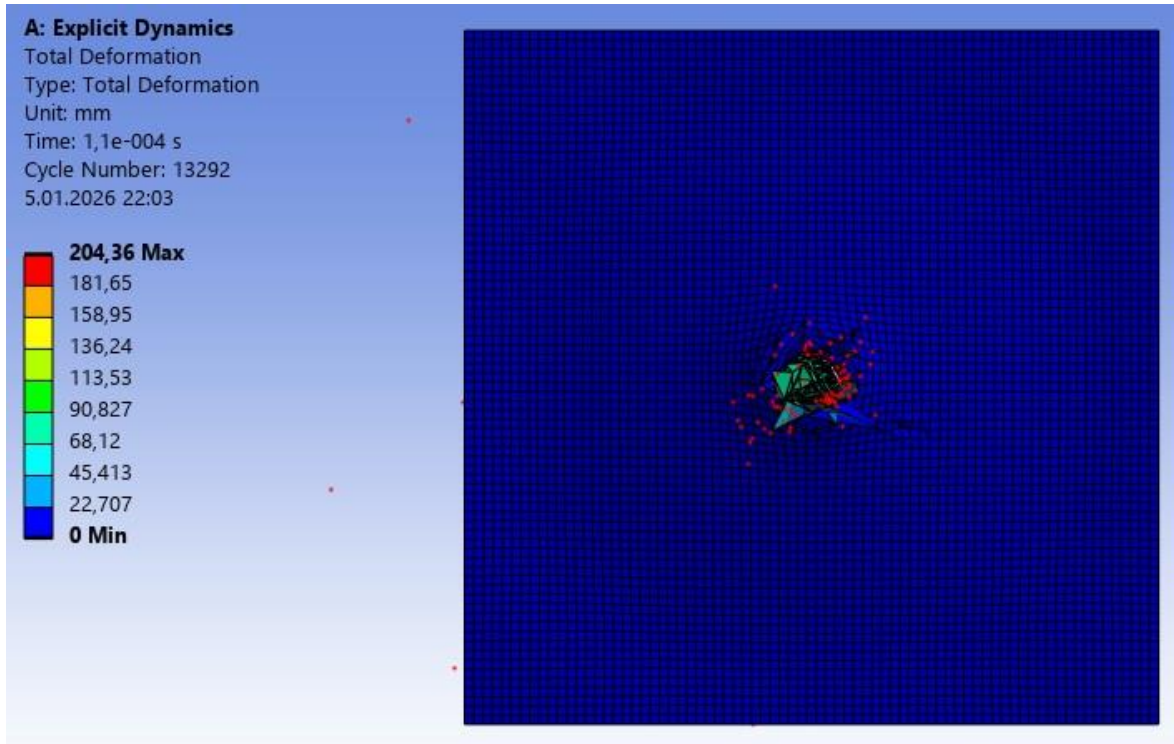


Şekil 3. ‘ti+pu’ kompozit zırha ait Eşdeğer Von-Mises Gerilmesi

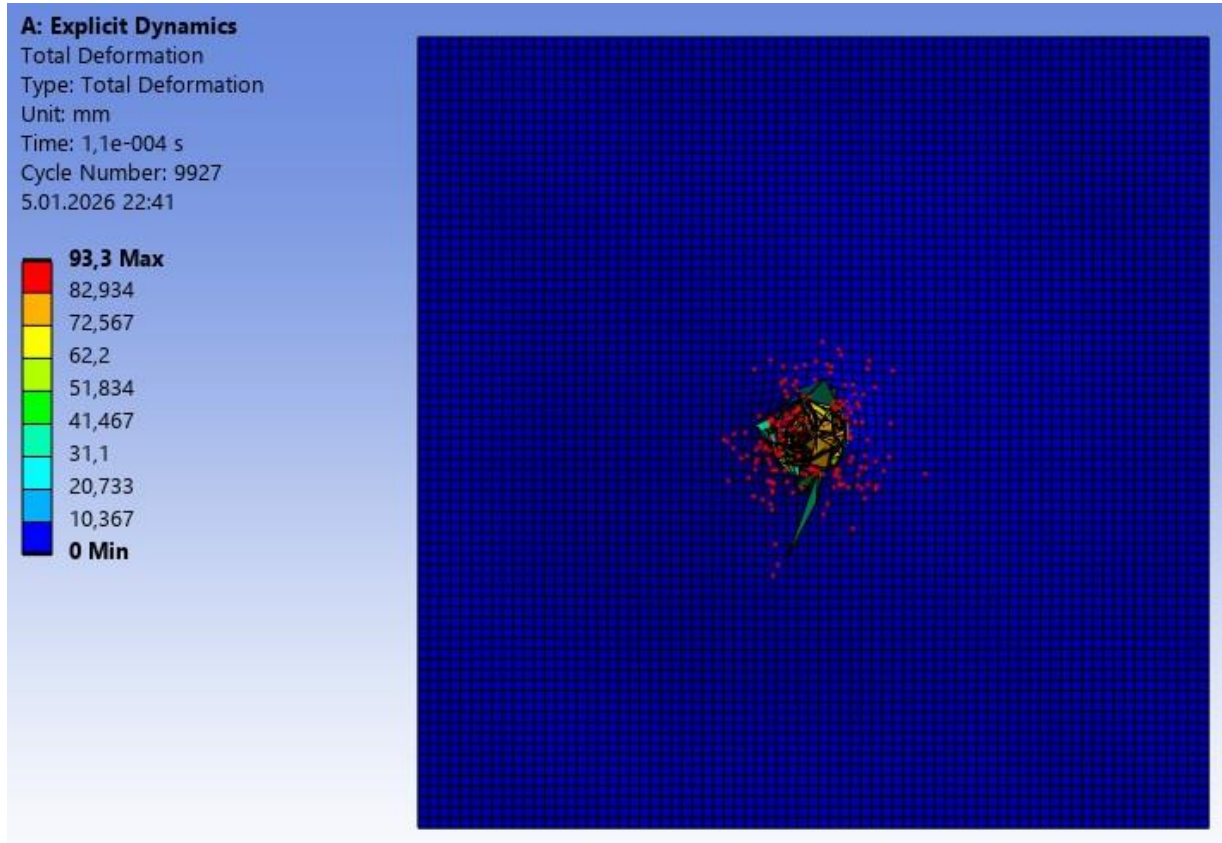


Şekil 4. ‘pu+ti’ kompozit zırha ait Eşdeğer Von-Mises Gerilmesi

Her iki kompozit zırha ait arka yüzde oluşan toplam deformasyon miktarları Şekil 5-6’da gösterilmiştir.

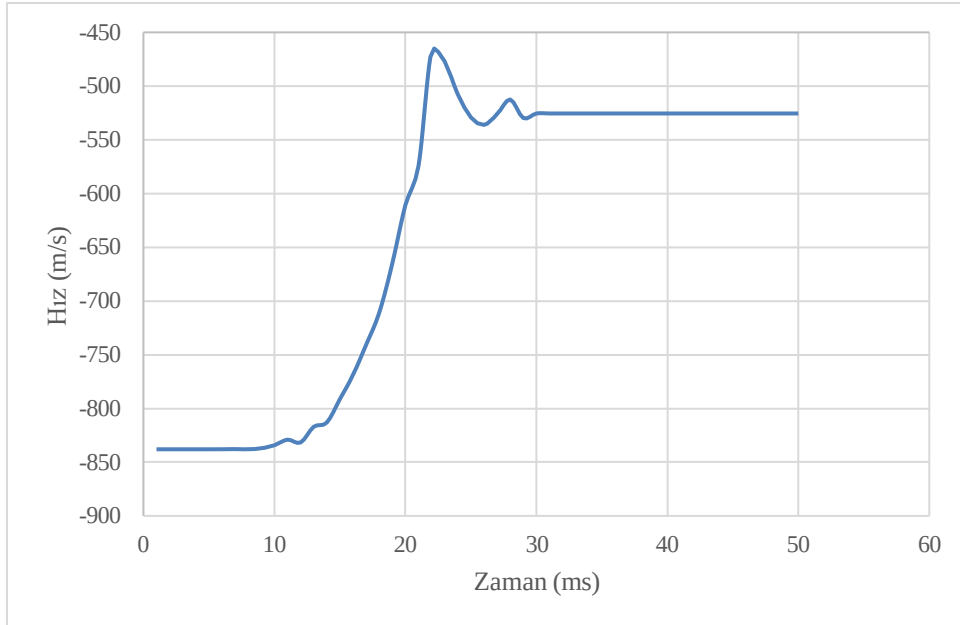


Şekil 5. ‘ti+pu’ kompozit zırha ait toplam deformasyon değeri

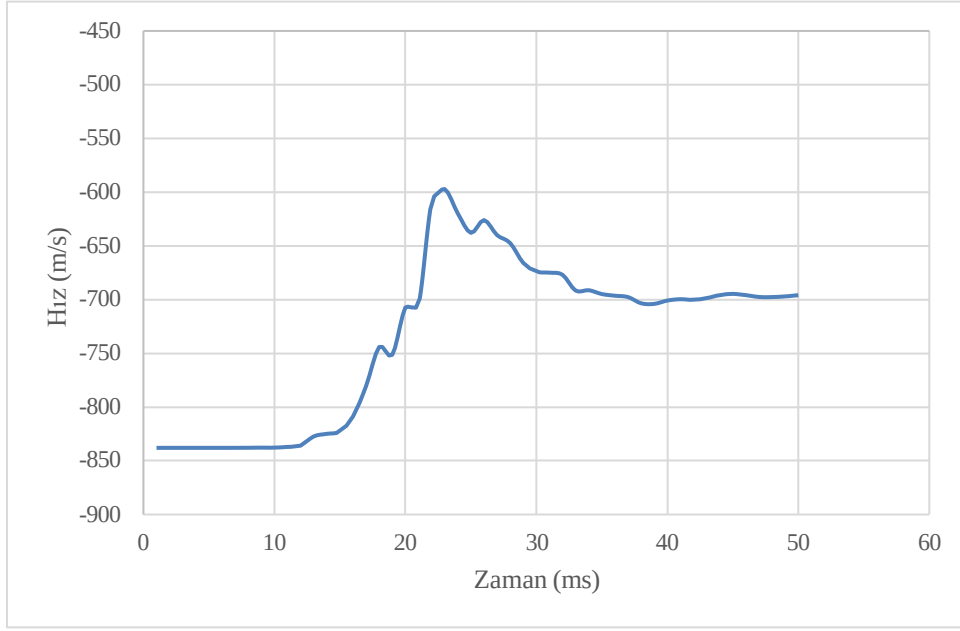


Şekil 6. ‘pu+ti’ kompozit zırha ait toplam deformasyon değeri

Mermi çekirdeklerinin hedefleri delip geçmesinden sonra mermi çekirdeklerine ait ölçülen hız değişimleri Şekil 7-8’de gösterilmiştir.



Şekil 7. ‘ti+pu’ numunesine çarpan mermi çekirdeğine ait hız değişimi grafiği



Şekil 8. ‘pu+ti’ numunesine çarpan mermi çekirdeğine ait hız değişimi grafiği

Sayısal analizler sonucunda elde edilen maksimum Eşdeğer Von-Mises gerilmeleri değerlerine bakıldığında, ‘ti+pu’ numunesinin arka yüzeyinde yer alan poliüre tabakasının maksimum gerilme değerinin, ‘pu+ti’ numunesinin ön yüzünde bulunan poliüre tabakasına göre daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Toplam deformasyon değerleri incelendiğinde ise, ‘ti+pu’ numunesinin arka yüzeyinde oluşan maksimum deformasyon değeri miktarının, ‘pu+ti’ numunesinin arka yüzeyinde oluşan değerden çok daha yüksek çıktığı anlaşılmaktadır. Ayrıca ‘ti+pu’ numunesine çarpan mermi çekirdeğinin zırh arka yüzeyine geçtikten ve kinetik enerjisinin bir miktarını kaybettikten sonra kalan hız değeri, ‘pu+ti’ numunesine çarpan merminin kalan artık hızından daha düşük çıkmıştır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Sayısal ve deneysel analizler, hibrit zırh tasarımlarında poliüre tabakasının konumunun koruma kapasitesi üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu doğrulamaktadır. Literatürdeki en güncel çalışmalar, poliüre katmanının metal plakanın arka yüzeyinde kullanılmasının, ön yüz uygulamalarına göre çok daha üstün bir balistik performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Özellikle çelik ve alüminyum tabanlı sistemlerde, arka tarafa yerleştirilen poliüre, yapısal deformasyonu sınırlandırarak çökme miktarlarını, ön yüze oranla önemli ölçüde azaltmaktadır.

Arka yüz konfigürasyonunun başarısı, poliürenin sergilediği dinamik destek mekanizmalarına dayanmaktadır. Fan ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmalar, ön yüzdeki poliürenin mermi çarpmasıyla hızla kesme hatasına uğrayarak koruyucu etkisini yitirdiğini, ancak arka yüzeydeki tabakanın "arka destek etkisi" sayesinde mermiyi sarmalayarak yüksek düzeyde enerji sönmülediğini göstermiştir. Wu ve ark. (2024) ise alüminyum köpük kompozitlerde en iyi darbe direncinin poliürenin arka tarafta konumlandırıldığı modellerde elde edildiğini belirtmiştir. Bu yerleşim stratejisi, metal katmandaki gerilme konsantrasyonlarını dağıtmakta ve malzemenin faz geçişini enerji emilimi lehine daha verimli kullanmaktadır.

Sonuç olarak, modern hibrit zırh sistemlerinde poliüre sadece bir yüzey kaplaması değil, sistemin toplam mukavemetini artıran aktif bir bileşen olarak kullanılmalıdır. He ve ark. (2025) tarafından vurgulandığı gibi, arka yüz konfigürasyonu kalıcı deformasyonu azaltmada en etkili iyileştirme yöntemidir ve mermi delinmesi sonrası oluşabilecek ikincil hasarları minimize etmektedir. Bu çalışma, yüksek durdurma gücü hedeflenen askeri araç ve gemi yapılarının korunmasında, arka yüz uygulamalarının temel bir tasarım parametresi olması gerektiğini desteklemektedir.

REFERENCES

- Alam, S., & Aboagye, P. (2024). Numerical modeling on ballistic impact analysis of the segmented sandwich composite armor system. *Applied Mechanics*, 5(2), 340–361. <https://doi.org/10.3390/applmech5020020>
- Alexe, G. G., Carp, G. B., Tiganescu, T. V., & Buruiana, D. L. (2026). Enhancing the performance of materials in ballistic protection using coatings—A review. *Technologies*, 14(1), 13. <https://doi.org/10.3390/technologies14010013>
- Amini, M. R., Isaacs, J., & Nemat-Nasser, S. (2010). Experimental investigation of response of monolithic and bilayer plates to impulsive loads. *International Journal of Impact Engineering*, 37(1), 82–102. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2009.02.002>
- Bai, Y., Liu, C., Huang, G., Li, W., & Feng, S. (2016). A hyper-viscoelastic constitutive model for polyurea under uniaxial compressive loading. *Polymers*, 8(4), 133. <https://doi.org/10.3390/polym8040133>
- Fan, Z., Guo, Y., Cui, Y., & Yang, X. (2024). Strengthening mechanism of polyurea to anti-penetration performance of spherical cell porous aluminum. *Polymers*, 16(9), 1249. <https://doi.org/10.3390/polym16091249>
- Gamonpilas, C., & McCuiston, R. C. (2012). A non-linear viscoelastic material constitutive model for polyurea. *Polymer*, 53(17), 3655–3658. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2012.06.027>
- Grujicic, M., Pandurangan, B., He, T., Cheeseman, B. A., Yen, C. F., & Randow, C. L. (2010). Computational investigation of impact energy absorption capability of polyurea coatings via deformation-induced glass transition. *Materials Science and Engineering: A*, 527(29–30), 7741–7751. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.08.042>
- He, C., Liu, Y., Yao, Y., & Chen, Q. (2023). Experimental and numerical investigation of ballistic resistance of polyurea-coated aluminum plates under projectile impacts. *Crystals*, 13(7), 1039. <https://doi.org/10.3390/cryst13071039>
- He, J., Qin, W., Liu, Y., & Wu, K. (2025). Investigation on low-velocity drop impact resistance and protection mechanism of polyurea reinforced steel composite structures. *Journal of Materials Engineering and Performance*.
- Li, X., Yuan, M., Huang, C., & Wang, S. (2024). Influence of surface polyurea coating on the ballistic performance of Kevlar fabric. *Heliyon*, 10(8), e29113. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29113>

- Mohotti, D., Ali, M., Ngo, T., Lu, J., & Mendis, P. (2014). Strain rate dependent constitutive model for predicting the material behaviour of polyurea under high strain rate tensile loading. *Materials & Design*, 53, 830–837. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.07.020>
- Raman, S. N., Ngo, T., Mendis, P., & Pham, T. (2012). Elastomeric polymers for retrofitting of reinforced concrete structures against the explosive effects of blast. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2012, 954280. <https://doi.org/10.1155/2012/954280>
- Roland, C. M., Fragiadakis, D., & Gamache, R. M. (2010). Elastomer–steel laminate armor. *Composite Structures*, 92(5), 1059–1064. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.09.057>
- Samiee, A., Isaacs, J., & Nemat-Nasser, S. (2010). Ballistic performance of polyurea-coated armor grade ceramic tiles. *Proceedings of SPIE*, 7644, 76441Y. <https://doi.org/10.1117/12.847836>
- Sarva, S., Nemat-Nasser, S., McGee, J., & Isaacs, J. (2007). The effect of thin membrane restraint on the ballistic performance of armor grade ceramic tiles. *International Journal of Impact Engineering*, 34(2), 277–302. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2005.07.009>
- Si, P. (2023). *Peng Si Ph.D. Dissertation* [Doctoral dissertation, Beijing Institute of Technology]. ResearchGate.
- Wu, Y., Guo, Y., Yi, S., Lv, Z., & Fan, Z. (2024). Impact resistance of aluminum foam composites with filler and coating materials. *Polymers*, 16(23), 3286. <https://doi.org/10.3390/polym16233286>
- Zhang, R., Huang, W., Lyu, P., Yan, S., Wang, X., & Ju, J. (2022). Polyurea for blast and impact protection: A review. *Polymers*, 14(13), 2670. <https://doi.org/10.3390/polym14132670>

THE EFFECT OF THERMAL SURFACE TREATMENT AT DIFFERENT TEMPERATURES ON SURFACE OXIDATION AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF METAL WIRE

FARKLI SICAKLIKLARDA UYGULANAN ISIL İŞLEMİN METAL TELİN YÜZEY OKSİTLENMESİ VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Asst. Prof. Dr. Musa YILMAZ

Naci Topcuoglu Vocational School, Gaziantep University, Gaziantep, Türkiye
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8278-8828>

ABSTRACT

In this study, the effect of heat treatment at different temperatures in an air atmosphere on the surface oxidation and microstructural properties of metal wire was investigated. In the experiments, industrially produced, cold-drawn metal wire samples with over 99% purity were used. The samples were subjected to heat treatment in a muffle furnace at two different temperatures and evaluated comparatively with an untreated reference sample. After the heat treatment, the surface morphologies of the samples were examined using Scanning Electron Microscopy (SEM), and the presence and chemical composition of the oxide layer formed on the surface were confirmed by Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS). While the untreated metal wire surface exhibited a relatively smooth morphology with low roughness, significant changes and new formations were observed on the surface of the heat-treated samples. Elemental analysis results revealed that these surface changes were caused by the formation of metal oxides. In samples treated at higher temperatures, a similar transformation in surface morphology was observed; however, the surface became more textured and heterogeneous.

The findings indicate that surface oxidation and morphological modifications can be controlled through heat treatment. It is well known that the surface morphology and roughness of metal wires directly affect performance criteria such as electrical contact, signal transmission, electrochemical activity, and mechanical adhesion, depending on the area of application. In this context, the surface morphologies obtained through controlled thermal surface treatment may offer potential advantages in future studies, particularly in applications where active surface area is critical, such as energy storage, electrochemical systems, and functional surfaces

Key Words: Metal wire; Thermal surface treatment; Metal oxide; Surface morphology; Functional surfaces

ÖZET

Bu çalışmada, metal telin hava atmosferinde farklı sıcaklıklarda uygulanan ısıtılmanın yüzey oksitlenmesi ve mikroyapısal özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneylerde, endüstriyel ölçekte üretilmiş, soğuk çekme işlemi uygulanmış ve %99 üzeri saflıkta metal tel numuneler kullanılmıştır. Numuneler, iki farklı sıcaklıkta kül fırında ısıtılma tabi tutulmuş ve ısıtılma işlemi görmemiş olan numune ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Isıtılma işlemi sonrası numunelerin yüzey morfolojileri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş, yüzeyde oluşan oksit tabakasının varlığı ve kimyasal bileşimi elementel analizler (EDS) ile

doğrulanmıştır. İşlemsiz metal tel yüzeyi nispeten düzgün ve pürüzlülüğü düşük bir morfoloji sergilerken, ısıtıl işlem uygulanan numunede yüzey yapısında belirgin değişimler ve yeni oluşumlar gözlemlenmiştir. Elementel analiz sonuçları, bu yüzey değişimlerinin oksit oluşumundan kaynaklandığını ortaya koymuştur. Isıl işlem sıcaklığının artırıldığı numunelerde ise yüzey morfolojisinde benzer bir değişim gözlenmekle birlikte, yüzeyin daha çıkıntılı ve heterojen bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular, ısıtıl işlemle yüzey oksitlenmesi ve yüzey morfolojisi değişiminin kontrol edilebileceğini göstermektedir. Metal tel yüzey morfolojisinin ve pürüzlülüğünün, kullanım alanına bağlı olarak elektriksel temas, sinyal iletimi, elektrokimyasal aktivite ve mekanik tutunma gibi performans kriterlerini doğrudan etkilediği bilinmektedir. Bu bağlamda, kontrollü termal yüzey işlemi ile elde edilen yüzey morfolojilerinin, ileriki çalışmalarda özellikle aktif yüzey alanının önemli olduğu enerji depolama, elektrokimyasal sistemler ve fonksiyonel yüzey uygulamalarında potansiyel avantajlar sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Metal tel, Termal yüzey işlemi, Metal oksit, Yüzey morfolojisi, Fonksiyonel yüzeyler

SOLAR THERMAL DESALINATION EFFICIENCY WITH PHASE CHANGE MATERIALS AND NANOFLUID COLLECTORS: ENERGY-STORAGE STRATEGIES FOR CASPIAN SEA WATER

Ali JAFAROV

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-6008-9209>

ABSTRACT

Freshwater scarcity and high salinity continue to challenge the sustainability of coastal and arid communities. In the Caspian Sea region, solar-thermal distillation has emerged as a promising method for producing potable water from saline sources.

However, the intermittent nature of solar radiation limits productivity, and conventional flat-plate collectors cannot capture and store heat efficiently enough to meet continuous demand. This article investigates the integration of phase change materials (PCMs) and nanofluid heat-transfer media into solar-thermal desalination systems to enhance thermal storage and improve daily water yield. We review the physical principles of latent-heat storage, discuss the selection and encapsulation of PCMs for distillation, and evaluate nanofluid collectors containing metal-oxide nanoparticles for increased thermal conductivity.

A conceptual multi-effect distillation (MED) unit with PCM-augmented storage and nanofluid collectors is modelled; chemical and energy calculations are presented, including scaling reactions of calcium carbonate and sulfate. Results suggest that integrating PCMs (e.g., paraffin or salt hydrates) can provide several hours of thermal buffering, enabling continuous distillation after sunset, while nanofluids (0.5–1 % volumetric fractions of Al_2O_3 or CuO) can enhance collector efficiency by up to 10 %. Environmental analysis shows that these modifications reduce carbon emissions by displacing fossil-fuel heat sources and that careful selection and containment of nanomaterials minimises ecological risks.

This study concludes that PCM and nanofluid technologies offer a viable pathway to scale up solar desalination for the Caspian region and support the long-term goal of sustainable water supply

Key Words: Solar Thermal Desalination; Phase-Change Materials; Nanofluid Collectors; Produced Water; Caspian Sea

COMPENSATION OF DYNAMIC ERRORS IN HIGH-SPEED MEASURING CHANNELS

Doç. Namiq MURADOV

National Aerospace Agency, Space Instrumentation Special Design Bureau, Baku, Azerbaijan
ORCID ID <https://orcid.org/0009-0003-8161-3596>

Çarkəz ƏHMƏDLİ

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-4051-4508>

ABSTRACT

Due to the inertia of physical sensors used to measure rapidly changing processes, as well as the limited dynamic characteristics of measurement channels, dynamic errors are inevitable. This article explores the compensation of dynamic errors in a measurement system based on piezoelectric vibration/pressure sensors in real time using machine learning (a neural network). To this end, a neural network architecture is presented that enables real-time reconstruction of the original signal from a vibration signal distorted by various influences during rapid measurement.

High-speed measurement channels are components of information measurement systems capable of converting, transmitting, and processing data at a high sampling rate or data transfer rate. In technical applications, such channels include measurement channels based on ARC converters with a sampling rate exceeding 10 Mbps and channels based on modern Hi-Speed USB (USB 2.0), PCI Express (PCIe), and Ethernet (LXI) interfaces with data transfer rates from Mbps to Gbps. The causes of dynamic errors in high-speed measurement channels include sensor and measurement path inertia, waveform distortion, latency, bandwidth limitations, phase shifts, ARC clock instability, and electromagnetic noise.

A study of current industry trends has shown that traditional linear methods are insufficient to compensate for dynamic errors in high-speed measurement systems based on piezoelectric vibration/pressure sensors. These errors can be minimized using neural networks. For the first time, we synthesized a hybrid neural network consisting of a combination of convolutional neural network (CNN) and bidirectional short-term memory (Bi-LSTM) architectures, a modification of recurrent networks, for deconvolution of piezoelectric sensor signals. The CNN performs spectral resonance modeling, while the Bi-LSTM performs mechanical memory modeling.

Keywords: dynamic errors, high-speed measurement channel, piezoelectric sensor, hybrid neural network

COGNITIVE ASPECTS OF DERIVATOLOGY IN THE AZERBAIJANI LANGUAGE AZƏRBAYCAN DİLİNDƏ DERIVATOLOGİYANIN KÖQNİTİV ASPEKTLƏRİ

Assoc. Prof. Zulfıyya İSMAYİL

Nakhchivan State University, Nakhchivan Branch of ANAS
ORCID: 0000-0002-4967-0123

ABSTRACT

Derivatology, as a field of linguistics that studies word formation, reflects not only the formal and structural mechanisms of language but also the cognitive processes related to human thinking. In modern linguistics, the cognitive approach to derivatology examines word formation in connection with how speakers perceive, categorize, and conceptualize the world. From this perspective, derivational processes in the Azerbaijani language function as a means of expressing the national mindset and the mental models of language users.

In cognitive derivatology, a derived word is regarded as a semantic and conceptual continuation of its base word. In Azerbaijani, suffixes do not merely serve grammatical functions but also contribute to the formation of new concepts. In such derivations, word formation is based on human experience and associations.

From a cognitive point of view, derivational relations rely on the principle of motivation. The logical and semantic connection between the motivating word and the derived word is based on the speaker's knowledge. In Azerbaijani, derivational nests and chains are formed around a single concept, revealing the conceptual structure of the language and reflecting the gradual development of thought.

In addition, cognitive derivatology explores the role of metaphor and metonymy in word formation. Many derived words result from the comprehension of abstract concepts through concrete experience. This contributes to the preservation of national and cultural features in the lexical system of the Azerbaijani language.

This study investigates the cognitive aspects of the word formation process (derivatology) in the Azerbaijani language. Derivation is presented not only as a morphological mechanism but also as a way of perceiving the world, categorizing concepts, and creating meaning. According to the cognitive linguistics approach, word formation is closely connected with the speaker's thinking, conceptual structures, and cognitive models.

The article explains the cognitive motivation of affixation, semantic extension, and lexical derivation processes. The role of metaphorical and metonymic mechanisms in the formation of new words in Azerbaijani is particularly emphasized. At the same time, the formation of derived words across conceptual domains and their connection with worldview are analyzed.

The study shows that derivational units are not merely formal linguistic elements but also products of human cognition. This approach allows for a deeper understanding of the Azerbaijani lexical system and the relationship between language and thought.

In conclusion, the cognitive aspects of derivatology in the Azerbaijani language make it possible to interpret word formation not only as a morphological process but also as a reflection of human consciousness, worldview, and conceptual system in language. This approach provides insight into the dynamic nature and creative potential of the language.

XÜLASƏ

Derivatologiya dilçilikdə söz yaradıcılığını öyrənən sahə kimi dilin yalnız formal-struktur mexanizmlərini deyil, həm də insan təfəkkürü ilə bağlı koqnitiv prosesləri əks etdirir. Müasir dilçilikdə derivatologiyaya koqnitiv yanaşma söz yaradıcılığını ünsiyyət quran insanın dünyanı qavraması, kateqoriyalaşdırması və konseptuallaşdırması ilə əlaqədə araşdırır. Bu baxımdan Azərbaycan dilində derivasiya prosesləri milli düşüncə tərzinin və dil daşıyıcısının mental modellərinin ifadə vasitəsi kimi çıxış edir.

Koqnitiv derivatologiyada törəmə söz əsas sözün semantik və konseptual davamı kimi dəyərləndirilir. Azərbaycan dilində şəkilçilər yalnız qrammatik funksiya daşıyır, eyni zamanda yeni konseptlərin formalaşmasına xidmət edir. Bu tip törəmələrdə söz yaradıcılığı insanın təcrübə və assosiasiyalarına əsaslanır.

Koqnitiv aspektdən derivativ münasibətlər motivasiya prinsipinə söykənir. Motivləşdirici sözlə törəmə söz arasında məntiqi və semantik əlaqə danışanın biliyinə əsaslanır. Azərbaycan dilində derivativ yuvalar və zəncirlər bir konsept ətrafında formalaşaraq dilin konseptual strukturunu ortaya qoyur və düşüncənin mərhələli inkişafını əks etdirir.

Bundan əlavə, koqnitiv derivatologiya metafora və metonimiyanın söz yaradıcılığındakı rolunu da araşdırır. Bir çox törəmə sözlər insanın abstrakt anlayışları konkret təcrübə üzərindən dərk etməsinin nəticəsidir. Bu hal Azərbaycan dilinin leksik sisteminə milli-mədəni xüsusiyyətlərin qorunmasına şərait yaradır.

Bu tədqiqat Azərbaycan dilində söz yaradıcılığı prosesinin (derivatologiyanın) koqnitiv aspektlərini araşdırır. Derivasiya yalnız morfoloji mexanizm kimi deyil, həm də insanın dünyanı qavrama, anlayışları kateqoriyalaşdırma və mənalandırma üsulu kimi təqdim olunur. Koqnitiv dilçilik yanaşmasına əsasən, söz yaradıcılığı dil daşıyıcısının təfəkkürü, konseptual strukturları və idrak modeli ilə sıx bağlıdır.

Məqalədə affiksasiya, semantik genişlənmə və leksik törəmə proseslərinin koqnitiv motivasiyası izah edilir. Azərbaycan dilində yeni sözlərin yaranmasında metaforik və metonimik mexanizmlərin rolu xüsusi vurğulanır. Eyni zamanda, törəmə sözlərin konseptual sahələr üzrə necə formalaşdığı və dilin dünyagörüşü ilə əlaqəsi təhlil olunur.

Araşdırma göstərir ki, derivatoloji vahidlər yalnız formal dil vahidləri deyil, həm də insan idrakının məhsuludur. Bu yanaşma Azərbaycan dilinin leksik sisteminin daha dərinədən anlaşılmasına və dil-təfəkkür münasibətlərinin izahına imkan yaradır.

Nəticə etibarilə, Azərbaycan dilində derivatologiyanın koqnitiv aspektləri söz yaradıcılığını yalnız morfoloji proses kimi deyil, insan şüurunun, dünyagörüşünün və konseptual sisteminin dilə yansıması kimi izah etməyə imkan verir. Bu yanaşma dilin dinamikliyini və yaradıcı potensialını daha dərinədən anlamağa şərait yaradır.

CONVERSION OF LOW-MOLECULAR-WEIGHT HYDROCARBONS USING ZEOLITE-SUPPORTED MICROBIAL BIOCATALYSTS ISOLATED FROM OIL-CONTAMINATED SITES IN BAKU, AZERBAIJAN

Sevil NAMAZOVA

Azerbaijan State Oil and Industry University, Faculty of Chemical Technology, Department of Petrochemical Technology and Industrial Ecology, Baku, Azerbaijan
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-5428-5454>

Aysel ASLANLI

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Chemistry, Department of Enzymology, Moscow, Russia
Azerbaijan State Oil and Industry University, Faculty of Chemical Technology, Department of Petrochemical Technology and Industrial Ecology, Baku, Azerbaijan
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1087-6690>

ABSTRACT

Introduction and Purpose: The bioconversion of low-molecular-weight hydrocarbons (LMWH) is a promising approach for addressing environmental pollution in regions affected by intensive oil production, refining and processing. The immobilization of microorganisms on various supports can significantly improve their catalytic stability and efficiency. The aim of this study was to investigate the conversion of LMWH using microbial biocatalysts immobilized on ZSM-5 zeolite supports, with microorganisms isolated from oil-contaminated soil samples collected in Baku, Azerbaijan.

Materials and Methods: Microbial consortia were isolated from soil samples collected at oil-contaminated sites in the Baku, Azerbaijan (Balakhani, Surakhani and Sabunchu). Isolation was performed using enrichment in hydrocarbon-containing media to select microorganisms capable of utilizing LMWH as carbon and energy sources. The obtained microbial cultures were subsequently immobilized onto ZSM-5 by adsorption. Catalytic conversion experiments were carried out in batch mode using identical amounts of zeolite carrier and immobilized biomass for all samples. After the catalytic tests, reaction mixtures were analyzed by chromatographic methods to determine substrate conversion.

Results: The zeolite-supported microbial biocatalyst systems exhibited effective conversion of LMWH. Significant variations in catalytic activity were observed among microorganisms isolated from different sampling sites in the Baku region. In several cases, relatively high conversion efficiencies were achieved, demonstrating the strong hydrocarbon-degrading potential of certain microbial consortia when immobilized on ZSM-5 zeolite supports.

Discussion and Conclusion: The findings demonstrate that the combination of pentasil zeolites with microorganisms isolated from oil-contaminated sites in Azerbaijan enhances the bioconversion of LMWH. Such zeolite-based microbial systems are increasingly being considered as promising tools for bioremediation, particularly in oil-producing regions. Overall, the study highlights the potential application of zeolite-supported microbial biocatalysts for the sustainable hydrocarbon conversion and remediation of oil-contaminated sites in Baku.

Key Words: Pentasil-type zeolite; Low-molecular-weight hydrocarbons (LMWH); Microbial biocatalysts; ZSM-5; Bioremediation; Azerbaijan

ALTERNATIVE RAW MATERIAL FOR ENERGY: WASTE AND BIOMASS

ENERJİ İÇİN ALTERNATİF HAM MADDE: ATIK VE BİYOKÜTLE

Lect. Oya ÖZEL GÜRBÜZ

Niğde Ömer Halisdemir University, Ulukışla Vocational School, Environmental Cleaning Services Program, Niğde, Turkey,
ORCID: ID/0000-0002-7590-2696,

ABSTRACT

Increasing energy demand and environmental problems caused by fossil fuels have made the shift to sustainable and renewable energy sources imperative. In this context, waste and biomass have significant potential in terms of both reducing waste management problems and diversifying energy production. Energy production from waste and biomass is considered one of the fundamental components of sustainable energy policies.

This study examines methods of energy production from waste and biomass within the framework of a sustainable energy approach. Primary methods such as biogas production, thermal conversion technologies, and biofuel production are examined and evaluated within the scope of sustainable energy. Furthermore, converting waste and biomass into energy contributes to reducing greenhouse gas emissions and conserving natural resources. With proper planning, appropriate technology selection, and effective regulatory support, energy production from waste and biomass can make significant contributions to sustainable energy goals. However, issues such as investment costs, technical infrastructure deficiencies, and lack of social awareness need to be overcome. In this context, integrated waste management, incentive mechanisms, and the active role of local governments are critical to the widespread adoption of sustainable energy production.

Keywords: Waste, Biomass, Energy Production, Sustainable Energy.

ÖZET

Artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtların yol açtığı çevresel sorunlar, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi zorunlu hale getirmiştir. Bu kapsamda atık ve biyokütle hem atık yönetimi sorunlarının azaltılması hem de enerji üretiminin çeşitlendirilmesi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Atık ve biyokütleden enerji üretimi, sürdürülebilir enerji politikalarının temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, sürdürülebilir enerji yaklaşımı çerçevesinde atık ve biyokütleden enerji üretim yöntemleri ele alınmıştır. Biyogaz üretimi, termal dönüşüm teknolojileri ve biyoyakıt üretimi gibi başlıca yöntemler incelenmiş olup, sürdürülebilir enerji kapsamında değerlendirilmiştir. Ayrıca atık ve biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesinin sera gazı emisyonlarının azaltılması, doğal kaynakların korunması gibi katkı sağlamaktadır. Atık ve biyokütleden enerji üretiminin

doğru planlama, uygun teknoloji seçimi ve etkin mevzuat desteği ile sürdürülebilir enerji hedeflerine önemli katkıları bulunmaktadır. Ancak yatırım maliyetleri, teknik altyapı eksiklikleri ve toplumsal farkındalık yetersizliği gibi sorunların aşılması gerekmektedir. Bu bağlamda, entegre atık yönetimi, teşvik mekanizmaları ve yerel yönetimlerin aktif rol alması, sürdürülebilir enerji üretiminin yaygınlaştırılmasında kritik öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Atık, Biyokütle, Enerji Üretimi, Sürdürülebilir Enerji.

GİRİŞ

Dünya genelinde artan enerji talebi ve fosil yakıt gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımını azaltma gerekliliği, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Bu kapsamda biyokütle, yenilenebilir ve esnek bir kaynak olması nedeniyle önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Özellikle biyokütlenin briket gibi katı yakıt formlarına dönüştürülmesi, enerji üretiminde kullanımını daha cazip hâle getirmektedir. Briketler, tarım ve ormancılık atıklarından üretilerek hem atık yönetimi sorunlarının azaltılmasına katkı sağlamakta hem de sürdürülebilir bir enerji kaynağı sunmaktadır(Irawan et al., 2025). İklim değişikliği ve fosil yakıt rezervlerinin azalması, sürdürülebilir ve yeşil enerji kaynaklarına yönelimi zorunlu kılmaktadır. Küresel tahminlere göre 2050’de gıda, yakıt ve su talebi artarken, CO₂ emisyonlarının %50–80 azaltılması gerekmektedir. Fosil yakıtlar hâlen küresel enerji ihtiyacının %80’ini karşılamakta ve büyük sera gazı kaynağı olup, bu bağlamda, biyokütle atıkları, fosil yakıtlara alternatif ve emisyonları azaltıcı bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Yüksek verim, düşük kirletici içeriği ve düşük maliyet gibi avantajları, biyokütleyi endüstriyel, evsel ve ticari alanlarda uygulanabilmektedir. Ayrıca, belediye katı atıklarının 2020’de 2,24 milyar tondan 2050’de 3,40–3,88 milyar tona çıkması beklenmekte olup, etkili biyokütle değerlendirme teknolojilerinin önemini artırmaktadır. Biyokütle atıklarının değerlendirilmesi alanında, teknik, ekonomik ve çevresel zorlukları ele alan daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Daha verimli ve maliyet etkin süreçler geliştirmek, ölçeklenebilirliği artırmak ve çevresel etkileri değerlendirmek; ayrıca hibrit sistemler ve yeni katalizörler ile süreçleri optimize etmek sürdürülebilirliği artırabilmektedir. Bu inceleme, pirolizin biyokütle atıklarının değerlendirilmesi için uygun bir teknik olduğunu ve döngüsel ekonomi ile fosil yakıt bağımlılığını azaltacak sürdürülebilir enerji üretimi ve etkili atık yönetimi stratejilerine katkı sağladığını göstermektedir (Konyannik & Lavie, 2025). Ülkeler, çevreyi korumak ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla petrole olan bağımlılıklarını azaltmak için alternatif yakıtlara yönelmektedir. Kara ve hava taşıtı üreticileri de motor ve araç tasarımlarını alternatif yakıtlara uygun hâle getirmektedir(Yılmaz & Atmanlı, 2016). Isı, küresel nihai enerji tüketiminin yaklaşık %50’sini oluşturmakta olup, en büyük enerji kullanım alanı olarak öne çıkmaktadır. 2019 yılında Uluslararası Enerji Ajansı, yenilenebilir enerjiyle ısıtmanın iklim değişikliğiyle mücadele, çevre kirliliğini azaltmak, enerji dönüşümünü sağlamak ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmekte yol gösterici olduğunu belirtmektedir. Biyokütle enerjisi, yenilenebilir ısı kaynaklarının geliştirilmesinde öncelikli bir konumda bulunmakta olup, dünya çapında birçok ülke tarafından değer görmekte ve AB ülkelerinde biyokütle ısıtma teknolojisi daha erken gelişmekte, politika sistemi daha olgunlaşmaktadır. Bu ülkelerde biyotermal enerji, toplam yenilenebilir termal enerji

tüketiminin %86'sını oluşturmakta ve ısıtma endüstrisinin karbonsuzlaştırılmasında önemli bir rol oynamaktadır(Song et al., 2021). Nüfus artışı ile birlikte enerji talebi hızla artmaktadır. Ancak, fosil yakıtlar gibi geleneksel ve yenilenemeyen enerji kaynakları, bu artan talebi karşılamada yetersiz kalmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine yönelik bir zorunluluk doğurmaktadır. Son yıllarda, bu alternatif enerji kaynakları üzerine yapılan araştırmalar ve geliştirme çabaları, önemli bir ivme kazanmıştır. Yenilenebilir enerji üretimi, çevre dostu çözümler sunarak fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaya yardımcı olmakta olmaktadır(Baig & Wadje, 2007).Bu çalışmada biyokütleden enerjiye dönüşüm yöntemleri verilmiş olup, ülkelerin uyguladığı biyokütle enerjisi kullanımına yer verilmektedir.

MATERYAL METOT

Biyokütle enerjisi, bitki ve hayvan kökenli organik maddelerin enerji üretiminde kullanılmasıdır. Geleneksel odun gibi kaynaklardan, şeker kamışı atığının modern biyoteknoloji yöntemleriyle etanole dönüştürülebilir enerji bitkilerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Bu biyokütle kaynakları, yakıt olarak doğrudan kullanılabilir gibi, etanol üretimi yoluyla benzine karıştırılarak ulaşım sektöründe de değerlendirilebilmektedir. Böylece biyokütle, yenilenebilir ve fosil yakıtlara alternatif bir enerji kaynağı sunmaktadır(Khilaré & Gangawane, 2007). Biyokütle kalıntıları ve organik atıklar, enerji üretimi için iki temel dönüşüm yoluna sahiptir: termokimyasal ve biyokimyasal süreçler bulunmaktadır. Her iki yöntem de farklı enerji ürünleri (biyogaz, biyoyakıt, biyoelektrik) elde etmeye olanak sağlamaktadır.

1. Termokimyasal Dönüşüm: Bu süreç, biyokütleyi yüksek sıcaklık ve kontrollü koşullar altında enerjiye dönüştürmekte ve başlıca yöntemler şunlardır:
 - Gazlaştırma: Biyokütle, sınırlı oksijen veya buhar varlığında yüksek sıcaklıklarda reaksiyona girer ve karbon monoksit (CO), hidrojen (H₂), metan (CH₄) gibi sentez gazları üretmesidir. Bu gazlar elektrik üretimi veya kimyasal hammadde olarak kullanılabilir.
 - Piroлиз: Oksijensiz ortamda biyokütlenin ısıtılmasıyla biyo-yag, biyokömür ve sentetik gazlar elde edilmektedir. Piroлиз, özellikle biyoyakıt üretiminde öncelikli bir yöntemdir.
 - Sıvılaştırma / Hidrolik Dönüşüm: Biyokütle, sıcaklık ve basınç altında sıvı biyoyakıt üretmek için parçalanmakta ve bu yöntem, özellikle hidrokarbon açısından zengin yakıt üretimi için kullanılmaktadır.
 - Yanma: Biyokütle doğrudan yakılarak ısı ve elektrik enerjisi üretmektedir. Basit ve yaygın bir yöntem olmakla birlikte, verimlilik açısından sınırlamalara sahiptir.
2. Biyokimyasal Dönüşüm: Biyokütle, mikroorganizmalar veya enzimler aracılığıyla kimyasal olarak parçalanarak enerjiye dönüştürülmektedir.
 - Anaerobik Çürütme: Organik atıklar oksijensiz ortamda biyogaza (çoğunlukla metan) dönüştürülmekte ve bu süreç, hem atık yönetimini hem de enerji üretimini desteklemektedir.
 - Alkollü Fermantasyon: Şeker ve nişasta açısından zengin biyokütle, mikroorganizmalar ile etanol gibi biyoyakıt üretmektedir.

- Fotobiyolojik Hidrojen Üretimi: Fotosentetik mikroorganizmalar kullanılarak biyokütleden hidrojen gazı üretilmektedir.
3. Transesterifikasyon: Biyodizel üretimi için yaygın ve ekonomik bir yöntemdir. Bitkisel yağlar veya hayvansal yağlar, alkol (etanol veya metanol) ve katalizör kullanılarak biyodizele dönüştürülmektedir. Özellikle yüksek serbest yağ asidi içeren yağlar için uygun olmaktadır.
 4. Doğrudan Biyoelektrik Üretimi: Biyokütle, mikrobiyal yakıt hücreleri veya biyokütle yakma tesisleri aracılığıyla doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Bu yöntemler, atık yönetimini enerji üretimi ile entegre ederek sürdürülebilir enerji sağlama potansiyeline sahiptir.

Bu yöntemler, atık yönetimi sorunlarını azaltırken aynı zamanda fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak çevresel fayda sağlamakta fakat üretim maliyetleri, teknolojik altyapı ve ölçeklendirme sorunları, bu yöntemlerin yaygın uygulanabilirliğini sınırlamaktadır(Tran et al., 2020).

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çevre biyoteknolojisi, özellikle gelişmekte olan ülkelerde belediye atıklarının bertarafı, tarımsal atıkların enerjiye dönüştürülmesi ve kirlenmiş alanların temizlenmesi gibi sorunlara düşük maliyetli çözümler sunma potansiyeline sahip olmakla birlikte biyoteknoloji, çevresel kirliliğin giderilmesinde ve sürdürülebilir çevre yönetiminde güçlü bir araç olarak görülmektedir(Khilare & Gangawane, 2007). Yapılan bir çalışmada Thermocol (genişletilmiş polistiren, EPS) atıklarının çevreye verdiği zarar ve geleneksel geri dönüşüm yöntemlerinin yetersizliği ele alınmaktadır. Çözüm olarak katalitik piroliz kullanılmış; bu yöntem, atıkları sıvı yakıtlara dönüştürerek hem plastik kirliliğini azaltmak hem de alternatif enerji üretmek için uygulanmıştır. Çalışmada biyogazla çalışan bir reaktör ve çevre dostu ısıtma sistemi kullanılmış, pirinç kabuğu külü ve zeolit katalizörleri ile piroliz gerçekleştirilerek pentan, benzen ve toluen gibi faydalı hidrokarbonlar üretilmiştir. Bu yöntem ile, hem atık yönetiminde hem de yeşil enerji üretiminde çevre dostu ve verimli bir yaklaşım sunmaktadır. Atık termokolleri sıvı hidrokarbona dönüştürmek için sürdürülebilir bir yöntem olarak katalitik pirolizin potansiyelini göstermekte ve atık yönetimi ve kirliliğin azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır(Elangkathir et al., 2025). Yapılan bir başka çalışmada elektronik atıkların geri dönüşümünde çevre dostu ve ekonomik bir yöntem olarak piroliz öne çıkmaktadır. Plastik bileşenler 700–800 K sıcaklıkta termal olarak bozunarak ve yağ, gaz ile kömür ürünlerine dönüştürülmektedir. Kapalı reaktörlerde gerçekleştirilen işlem, tek aşamalı kırma yöntemleriyle yapılabilmekte ve sabit, akışkan yataklı veya boru tipi reaktörler kullanılmaktadır. Piroliz türleri; geleneksel, hızlı ve yavaş piroliz olup, hızlı ve yavaş piroliz, yanıcı ve bromlu plastikleri temiz yakıtlara ve değerli ürünlere dönüştürmede en etkili yöntemlerdir. Bu yöntem, hem emisyonları azaltır hem de değerli bileşenlerin geri kazanılmasına olanak tanımaktadır(Islam et al., 2025). Myanmar ülkesinde Yangon kentinde hızlı kentleşme, kontrolsüz katı atık dökümü ve kötü yönetilen sahalar nedeniyle ciddi çevre ve sağlık sorunları yaratmaktadır. Araştırma, Myanmar’da atık yönetimi ve enerji kıtlığı sorunlarına çözüm olarak Atıktan Enerjiye teknolojilerini incelemektedir. Yakma, biyogaz geri kazanımı gibi çeşitli seçenekleri değerlendirilmiş ve diğer ülkelerin uygulamaları Myanmar bağlamına uyarlanmıştır. Buna göre , uygun WTE projelerinin çöp sahalarına bağımlılığı azaltabileceğini, karbon emisyonlarını ve aşırı metan üretimini düşürebileceğini ve böylece

sürdürülebilir, çevre dostu bir çözüm sunabileceğini göstermektedir. Atıktan enerjiye dönüştürme teknolojileri, atıkları elektrik, ısı veya yakıt gibi enerji biçimlerine çevirerek hem çöp sahalarına gönderilen atık miktarını azaltmakta hem de enerji üretmektedir(Hset et al., 2025). Biyolojik süreçlerden biri olan fermentasyon, organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından daha basit bileşiklere dönüştürülmesidir. Bu süreçte, şekerler (glikoz, selüloz vb.) mikroorganizmalar tarafından fermente edilerek etanol ve karbondioksit (CO_2) üretilmektedir. Etanol, petrokimyasal yollarla sentetik olarak üretilebileceği gibi, biyokütle malzemelerinin mikroorganizma fermentasyonu ile de elde edilebilmekte ve bu tür biyokütlelerin fermentasyonu, yenilenebilir enerji üretimi için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Fermentasyon süreci, özellikle selüloz ve gibi organik bileşiklerin dönüşümü açısından oldukça önemlidir. Mikroorganizmalar, bu bileşenleri etkili bir şekilde parçalayarak, biyoyakıt üretiminde kullanılabilecek maddelere dönüştürmektedir(Baig & Wadje, 2007). Sera gazı (GHG) emisyonlarının artışı, başta fosil yakıt kullanımı ve arazi kullanımı olmak üzere insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve azot oksit (N_2O) gibi gazlar, küresel ısınmanın başlıca sebepleri olup tarım sektörü dünya çapında emisyonların en az %20'sine katkıda bulunmakta, özellikle Asya'da bu oran %44'ün üzerindedir. CO_2 emisyonlarını azaltmak için iyi bir çözüm, bitki veya biyolojik kaynaklı biyokütlenin kullanımıdır; bu, sürdürülebilir ve çevre dostu enerji üretimi için önemli bir alternatiftir. Kahve, dünya çapında petrolden sonra en büyük ikinci biyokütle emtiası olup, üretimi sırasında önemli miktarda tarımsal atık ortaya çıkarmaktadır. Kahve çekirdeğinin yaklaşık %90'ı kullanılmış kahve telvesi olarak atık hâline gelmekte ve bu atık, hem ticari işletmelerde hem de evlerde yılda milyonlarca ton üretilmektedir. SCG, antioksidanlar ve organik bileşikler açısından zengin olup, biyokütle kaynağı olarak sürdürülebilir kullanım potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, kahve atıklarının doğru yönetimi ve biyokütle olarak değerlendirilmesi, çevresel etkileri azaltmak ve verimli biyokütle kullanım stratejileri geliştirmek açısından kritik öneme sahiptir(Al Balushi et al., 2025). Fosil yakıtların yanmasıyla açığa çıkan CO_2 emisyonları sera gazı etkisini artırarak iklim değişikliğine yol açmaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Birleşmiş Milletler'in sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden biri olan temiz ve uygun fiyatlı enerji, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır. Bu hedef doğrultusunda, atıkların verimli şekilde geri dönüştürülmesi, sürdürülebilirlik ve yenilenebilirlik hedeflerine katkı sağlamaktadır. Piroliz yöntemi atık lastiklerden yakıt (elde etmek için teknolojik olarak hazır bir yöntemdir. Yapılan bir çalışmada atık lastik piroliz yağları havacılık gaz türbini motorlarında test edilmiştir , saf hâlde veya jet yakıtı ile karıştırılarak performans ve emisyonlar açısından değerlendirilmiştir. Özellikle atık biyokütleden (atık lastik) havacılık jet yakıtı üretimi, araştırmacıların ilgisini çeken bir alan olarak öne çıkmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı olması ve artan enerji talebi, yenilenebilir ve sürdürülebilir yakıtlara olan ihtiyacı artırmaktadır. Atık lastikler, yüksek kalorifik değerleri nedeniyle alternatif yakıt üretimi için ideal hammadde olarak öne çıkmaktadır(Gunerhan et al., 2023). Çin, 2030'da karbon emisyonlarını zirveye ulaştırmayı ve 2060'da karbon nötrlüğünü hedeflemektedir. Mevcut enerji tüketimi büyük ölçüde fosil yakıtlara (%88,19) dayansa da, biyokütlenin potansiyeli yıllık 3,5 milyar ton ile stratejik bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Beş Yıllık Plan çerçevesinde 2025'e kadar fosil olmayan enerjinin payı %15,9'a çıkarılması öngörülmüştür. Bu hedefler doğrultusunda, yeşil biyokütle teknolojilerinin

geliştirilmesi, temiz enerji eksikliğini gidermek ve karbon nötrlüğü hedefleriyle uyumlu bir enerji geçişi sağlamak için kritik önemdedir. Atık biyokütlenin termokimyasal dönüşümü, bu stratejinin temelini oluşturmaktadır. Özellikle piroliz, anaerobik koşullarda biyokütleyi biyo-yag, biyokömür ve H₂ açısından zengin sentetik gaz gibi değerli enerji ürünlerine dönüştürür ve reaksiyon koşulları ürün verimi ile dağılımını belirlemektedir (Qin et al., 2025). AB ülkelerinde küresel yenilenebilir ısı tüketimi 2019–2024 arasında artmakta olup, biyokütle enerjisi en büyük paya sahip olmaktadır. Ancak biyokütle ısıtması modern enerji taleplerini tam karşılayamamış ve küresel iklim hedeflerine ulaşmak için yetersiz kalmaktadır. Çin ülkesi ise yenilenebilir enerji geliştirme konusunda destek ve politika rehberliğini artırmakta ve biyokütleyi temiz, düşük karbonlu bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir hâle getirmektedir. Avrupa ülkeleri, biyokütle ısıtma sistemlerini erken geliştirmiş olmaları nedeniyle olgun teknolojilere ve kapsamlı politika sistemlerine sahiptirler. Bu ülkeler, uzun ve soğuk kışlar ile yüksek ısıtma talebi nedeniyle biyokütle ısıtmayı öncelikli enerji kaynağı olarak geliştirmekte ve yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. AB’de biyokütle ısıtmasının toplam ısıtma tedarikindeki payı 2004’te %10’dan 2017’de %20’ye yükselmiş olup, bazı ülkelerde son kullanıcıların toplam enerji tüketiminin %10’undan fazlasını oluşturmaktadır. Letonya en yüksek bağımlılığı sergilemekte (%33,21) ve Finlandiya, İsveç, Estonya, Danimarka ve Litvanya %20’nin üzerinde paylara sahiptir. Portekiz, Slovenya, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti ve Macaristan’da ise oranlar yaklaşık %11’de bulunmaktadır. Bu farklılıklar, coğrafi konum, iklim koşulları, doğal kaynaklar ve enerji politikalarına bağlı olarak ülkeden ülkeye değişmektedir (Song et al., 2021). Türkiye’de yapılan bir çalışmada kentsel katı atıklardan elde edilen biyokütle enerjisinin potansiyelini değerlendirmektedir. 2010–2020 verilerine göre, atıklardan yaklaşık 31.789 kt biyokütle ve 379.698 GWh elektrik üretilmekte, bu da ülkenin elektrik talebinin %7,81’ine karşılık gelmektedir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) sonuçları, piroliz, gazlaştırma ve anaerobik çürütme gibi atıktan enerjiye dönüştürme teknolojilerinin sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir. Bölgesel analizler Marmara’nın en yüksek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymakta ve 2030 tahminleri, Türkiye’nin biyokütle enerji potansiyelinin daha da artacağını göstermektedir. Atık Enerjiye Dönüşüm (WtE) projeleri, hem Türkiye’de hem de dünya genelinde giderek önem kazanmaktadır. Türkiye’de Çanakkale ve İzmir WtE tesisleri yılda sırasıyla 20 MW ve 23 MW elektrik üreterek hem enerji üretimi hem de atık yönetimi açısından başarılı örnekler sunmaktadır. Uluslararası alanda, Londra Belvedere, Viyana Spittelau ve Kopenhag Amager Bakke tesisleri de yüksek kapasiteli elektrik ve ısı üretimi ile çevresel etkileri azaltarak WtE teknolojisinin etkinliğini göstermektedir (Tokmakci et al., 2025). Piroliz yoluyla tıbbi atıkların geri kazanımı, yeşil ve yenilenebilir biyokütle kullanımı ile sürdürülebilir bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Yapılan bir çalışmada ceviz ve pirinç kabuğu eklenerek tıbbi atık şırıngaların pirolitik iyileştirilmesi gerçekleştirilmiş ve Fe₃O₄-NiO manyetik katalizör ile dönüşüm verimi artırılmış, sonuç olarak, biyokütle destekli piroliz, tıbbi atıkların teknik olarak uygulanabilir şekilde geri kazanımını sağlayarak tıbbi atık kirliliği sorununa yeni bir çözüm sunmaktadır (Guan et al., 2026). Filipinler Iloilo kentinde yapılan bir çalışmada, biyokütle briket üretiminin teknik ve sosyo-ekonomik fizibilitesi incelenmiş buna göre belediye atık akışından elde edilen atık kâğıt, talaş ve karbonize pirinç kabuğundan üretilen briketlerin, kalite ve enerji verimliliği açısından uygulanabilir ve maliyet etkin bir yakıt kaynağı olduğu görülmektedir. Sonuçlar, basit ve dayanıklı briketleme teknolojilerinin

küçük ölçekli işletmeler için ekonomik bir fırsat sunduğunu ve atıkların alternatif yakıt ve hammadde olarak değerlendirilmesine katkı sağladığını göstermektedir(Romallosa & Kraft, 2017). 2008-2018 yılları arasında Türkiye’de yapılan bir araştırmada tarımsal ürünlerden elde edilebilecek biyokütle potansiyeli ve elektrik üretimi hesaplanmıştır. Toplam tarımsal ürün miktarı 771.354 kt olup, bunun 599.166 kt’si tarla bitkileri, 172.188 kt’si bahçe bitkileridir. Tarla ve bahçe bitkilerinden sağlanan teorik biyokütle potansiyeli sırasıyla 522.875 kt ve 51.359 kt kuru kütle olarak belirlenmiştir. Orta Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri, maksimum biyokütle potansiyeline sahiptir. 2008-2018 döneminde tarımsal ürünlerden elde edilen elektrik potansiyeli yaklaşık 994×10^6 kWh olup, toplam elektrik ihtiyacının %36’sı karşılanabilmektedir(Ozdil & Caliskan, 2022).

Biyokütle görüldüğü gibi yenilenebilir ve yerli bir enerji kaynağı olarak enerji arz güvenliğinin artırılması, fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması ve sera gazı emisyonlarının düşürülmesi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Yapılan çalışmalar, biyokütleden enerji üretiminin çevresel etkileri azaltırken aynı zamanda kırsal kalkınmayı desteklediğini ve atık yönetimi sorunlarına çözüm sunduğunu göstermektedir. Bu nedenle, uygun politika mekanizmaları ve teknolojik yatırımlarla biyokütlenin enerji sistemlerine entegrasyonu, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır.

KAYNAKÇA

- Al Balushi, J., Al Saadi, S., Ahanchi, M., Al Attar, M., Jafary, T., Al Hinai, M., Yeneneh, A. M., & Basha, J. S. (2025). A Comprehensive Review on Sustainable Conversion of Spent Coffee Grounds into Energy Resources and Environmental Applications. *Biomass*, 5(3), 55.
- Baig, M., & Wadje, S. (2007). Cellulosic Ethanol: Fuel for the Future? *Sustainable Environmental Management: Dr. Jayashree Deshpande Festschrift Volume*, 7.
- Elangkathir, V., Premkumar, P., Saravanan, C., & Kumaravel, S. (2025). Sustainable Waste Management and Environmental Pollution Control Through Catalytic Pyrolysis by Transforming Waste Thermocol into Alternative Fuels. *Nature Environment and Pollution Technology*, 24(4), 1-17.
- Guan, W., Ren, S., Chen, R., Luo, Z., Sun, Y., & Zhu, X. (2026). Upgraded Medical Waste Recycling via Magnetic Catalyst Combined with Biomass Pyrolysis: Thermal Decomposition, Product Evolution, and Sequential Temperature-Dependent Responses. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 107636.
- Gunerhan, A., Altuntas, O., & Caliskan, H. (2023). Utilization of renewable and sustainable aviation biofuels from waste tyres for sustainable aviation transport sector. *Energy*, 276, 127566.
- Hset, A. K. K., Soe, M. T., Myo, A. Z., Aye, N. M. M., Oo, K. Y., & Khin, C. M. (2025). Exploring Waste-to-Energy Solutions for Sustainable Waste Management and Environmental Impact Reduction: The Case of Yangon, Myanmar. 2025 Multimedia University Engineering Conference (MECON),
- Irawan, C., Winata, A. A., Ihwan, M. Y., Wijayanti, H., Putra, M. D., & Al Muttaqqii, M. (2025). Potential Production and Characterization of Charcoal-Based Bio-Briquettes from Ulin Wood Waste as An Alternative Sustainable Energy Resource. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 60(4), 595-608.

- Islam, M. S., Hasan, M. R., Mostakim, K., Joarder, M. S. A., Hasan, M. H., & Ahmed, M. R. (2025). E-Waste Management in Bangladesh: Environmental Impacts, Health Risks, and Sustainable Policy Strategies. *Cleaner Waste Systems*, 100297.
- Khilare, V., & Gangawane, L. (2007). Municipal solid and hazardous waste management: a review. *Sustainable Environmental Management: Dr. Jayashree Deshpande Festschrift Volume*, 152.
- Konyannik, B. Y., & Lavie, J. D. (2025). Valorization techniques for biomass waste in energy Generation: A systematic review. *Bioresource technology*, 132973.
- Ozdil, N. T., & Caliskan, M. (2022). Energy potential from biomass from agricultural crops: Development prospects of the Turkish bioeconomy. *Energy*, 249, 123770.
- Qin, L., Wang, Z., Zhao, B., Chen, W., & Han, J. (2025). Simulation analysis of waste biomass pyrolysis in a selfheating rotary reactor. *International Journal of Hydrogen Energy*, 191, 152345.
- Romallosa, A., & Kraft, E. (2017). Feasibility of biomass briquette production from municipal waste streams by integrating the informal sector in the Philippines. *Resources*, 6 (1), 1-19. In.
- Song, C., He, J., & Zhang, H. (2021). Comprehensive zoning of biomass energy heating in EU countries reference for China from European experience. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 19(4), 321-329.
- Tokmakci, M., Ozdil, N. F. T., & Bilgili, M. (2025). Municipal solid waste to biomass energy in Türkiye: A life cycle assessment approach for circular economy integration. *Biomass and Bioenergy*, 200, 107982.
- Tran, D.-D., Vafaeipour, M., El Baghdadi, M., Barrero, R., Van Mierlo, J., & Hegazy, O. (2020). Thorough state-of-the-art analysis of electric and hybrid vehicle powertrains: Topologies and integrated energy management strategies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 119, 109596.
- Yılmaz, N., & Atmanlı, A. (2016). Havacılıkta alternatif yakıt kullanılmasının incelenmesi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 3-10.

THE ROLE OF ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA VE ÇEVRE YÖNETİMİNDE ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİNİN ROLÜ

Assist. Prof. Orhan Atakan GÜRBÜZ

Niğde Ömer Halisdemir University, Niğde Vocational School of Social Sciences, Local Administrations Program, Nigde, Turkey,

ORCID: ID/0000-0001-7511-5628,

Assoc. Prof. Gülden GÖK

Aksaray University, The Faculty Of Engineering, Department Of Environmental Engineering, Aksaray, Turkey,

ORCID: ID/0000-0002-1692-8722,

ABSTRACT

Cleaning up a polluted environment is often an impossible or extremely costly process. In contrast, measures to protect the environment can lead to economic problems in the short term. However, implementing an effective environmental management strategy is essential to ensure the continuity of ecosystems and preserve the natural balance. In this context, striking a balance between development and environmental protection is of great importance.

The fundamental principle of sustainable development is to ensure progress while protecting the environment. Identifying, reducing, and preventing potential environmental problems in advance during economic decision-making processes plays a critical role in sustainability. Therefore, preparing Environmental Impact Assessment (EIA) reports during the research and planning stages of investment projects is an important tool for ensuring sustainable development.

In environmental management, pollution must be addressed in terms of its environmental dimension, and environmental management plans must be developed accordingly. Ensuring coordination between local governments, civil society organizations, and environmental legislation, supported by effective planning processes, will contribute significantly to solving problems encountered in the environmental development process.

Keywords: Environmental management, Sustainable development, Environmental impact assessment.

ÖZET

Kirlenen çevrenin temizlenmesi çoğu zaman imkânsız ya da çok yüksek maliyetler gerektiren bir süreçtir. Buna karşılık çevrenin korunmasına yönelik önlemler, kısa vadede ekonomik sorunların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ancak ekosistemlerin sürekliliğinin sağlanması ve doğal dengenin korunabilmesi için etkili bir çevre yönetim stratejisinin uygulanması zorunludur. Bu bağlamda kalkınma ile çevre koruma arasındaki dengenin sağlanması büyük önem taşımaktadır.

Sürdürülebilir kalkınmanın temel ilkesi, çevreyi koruyarak gelişmenin sağlanmasıdır. Ekonomik karar alma süreçlerinde olası çevresel sorunların önceden belirlenmesi, azaltılması ve önlenmesi sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle yatırım

projelerine ilişkin araştırma ve planlama aşamalarında Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) raporlarının hazırlanması, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında önemli bir araçtır.

Çevre yönetiminde kirliliğin çevresel boyutuyla ele alınmalı ve bu doğrultuda çevre yönetim planları oluşturulmalıdır. Yerel yönetimler, sivil toplum kuruluşları ve çevresel mevzuat arasındaki uyumun sağlanması; etkin planlama süreçleriyle desteklendiğinde, çevresel kalkınma sürecinde karşılaşılan problemlerin çözümüne önemli katkılar sunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Çevre yönetimi, Sürdürülebilir kalkınma, Çevresel etki değerlendirme.

Giriş

İnsan faaliyetlerinin çevreye etkisi tarih boyunca göstermiş ve günümüzde çevre-ekonomi dengesini sağlamak, ulusal planlar ve projelerde zorunlu hale gelmiştir. ÇED, yatırımların çevresel etkilerini azaltmayı ve sürdürülebilir kalkınmayı desteklemeyi amaçlarsa da, özellikle gelişmekte olan ülkelerde uygulanması zorluklar yaratmaktadır. ÇED'in stratejik ve proje bazlı uygulanması, çevre-ekonomi dengesinin kurulmasına ve kamu yatırımlarında etkinliğin artırılmasına katkı sağlamaktadır. ÇED genellikle yasal bir zorunluluk olarak yapılmakta ve bazen projeye etkisinin sınırlı olmasına yol açabilmektedir. ÇED sürecinde gereken analiz ve çalışmaları geçiştirmek, projenin sorunları proje aşamasına ertelemesine neden olabilmekte ve bu da finansal, sosyal ve çevresel kayıplara yol açmaktadır. Bununla birlikte, doğru yapıldığında ÇED, projeyi çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan iyileştirebilmektedir. Projelerin negatif etkilerini azaltmak, alanı küçültmek veya tasarımı değiştirmek gibi önlemler alınabilmekte, fakat ÇED sürecinin çoğu zaman projeye dair esas kararlar alındıktan sonra başlatılması eleştirilmektedir. ÇED'in etkili olabilmesi için erken aşamalarda (etüt, ön fizibilite) yapılması gerektiği vurgulanmaktadır (Ulusoy, 2019). Sürdürülebilir kalkınma kavramı ilk kez 1987 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yayımlanan Ortak Geleceğimiz (Brundtland Raporu) adlı raporda tanımlanmış ve bu rapora göre, sürdürülebilir kalkınmaya ilişkin literatürde hâlen geçerliliğini koruyan temel tanım olmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma, bugünkü kuşakların ihtiyaçlarını karşılarken gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını tehlikeye atmayan bir kalkınma süreci olarak ifade edilmektedir. Tanımın temelini, insan ihtiyaçlarının karşılanması ve bu ihtiyaçların, çevresel taşıma kapasitesini zorlayan teknoloji düzeyi ile toplumsal örgütlenme biçimlerinin getirdiği sınırlamalar çerçevesinde ele alınması oluşturmaktadır. ÇED, sadece bir çevresel değerlendirme aracı değil, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma hedeflerini somutlaştıran ve bu hedefleri uygulamaya koyan bir hukuki düzenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle ÇED uygulamalarının başarılı olabilmesi için, yalnızca teknik ve hukuki süreçlerin değil, sürdürülebilir kalkınma düşüncesinin de derinlemesine anlaşılması gerekmektedir. Bu anlayış, çevresel etkilerin azaltılması ve ekonomik kalkınmanın çevreyle uyumlu hale getirilmesi için büyük bir önem taşımaktadır. (Saygılı, 2007). Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED), projelerin çevre üzerindeki etkilerini öngören, analiz eden ve önleyici tedbirler öneren küresel olarak tanınan bir yasal ve idari araç olarak görülmektedir. Etkili uygulandığında kentsel kalkınma ile çevre koruma arasında denge sağlayarak sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmektedir. ÇED'in sürekli geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve uyarlanması, ilgili riskleri azaltmak için kritik öneme sahiptir. Ancak büyük ölçekli projelerde sosyal çatışmalar, inşaat gecikmeleri ve bütçe kayıpları gibi sorunlar hâlâ yaşanmakta, bu da ÇED'in çatışma çözme kapasitesinin sınırlı olduğunu göstermektedir (Kim et al., 2025). Sürdürülebilirlik, küresel olarak işletmelerin stratejik önceliği haline gelmiş ve operasyonel kararları şekillendirmiştir; firmalar, çevresel taleplere yanıt vermek için yeşil üretim, çevre politikaları ve ISO 14001 gibi standartları benimsenmektedir. Özellikle imalat sektöründe,

iklim değışikliği, kirlilik ve kaynak tüklenmesi gibi sorunlar çevresel etkileri azaltma ihtiyacını artırmış, yeşil teknolojiler ve yenilenebilir enerji sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen dönüştürücü araçlar olarak öne çıkmaktadır (Alhamdi & Al-Kahtani, 2025).

2. Materyal Metot

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED), insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkilerini analiz ederek sürdürülebilir çevrenin korunmasını amaçlayan temel çevresel planlama ve yönetim araçlarından birisi olup, ÇED sürecinin temel çıktısı ÇED raporu olup bu rapor; kuruluş yerinin belirlenmesi, ÇED gerekliliğinin tespiti, kapsamın belirlenmesi, raporun hazırlanması, inceleme-değerlendirme, karar verme-izleme ve nihai değerlendirme aşamalarından oluşmaktadır. Değerlendirme aşamasında ise ÇED raporunun yeterliliği, bilimsel veri ve belgelere dayanıp dayanmadığı, projenin çevresel etkilerinin ayrıntılı biçimde incelenmesi, bu etkilere yönelik önlemlerin öngörülmesi ve halkın katılımı sürecinin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği hususları dikkate alınmaktadır(Eskin, 2024).

ÇED, çevreyi ve ekonomiyi bir arada değerlendiren, bir uzlaşma süreci olarak tanımlanabilir. Bu uzlaşma, aslında sürdürülebilir kalkınma fikrinin uygulanabilirliğini gösteren bir mekanizmadır. ÇED, sadece çevresel etkiyi değil, ekonomik kalkınma süreçlerini de göz önünde bulundurmakta, çevresel zararın ve kaynakların tüklenmesinin önüne geçmek için bir yol haritası sunmaktadır. Çevresel etki değerlendirmesi fayda-maliyet analizinin bir parçası olarak ele alınmakta iken, günümüzde sürdürülebilir kalkınma ve çevre politikalarını uygulamakta kullanılan temel bir araç olarak kullanılmaktadır. Türkiye’de çevresel etki ve stratejik çevresel değerlendirme mevzuatı 2017 yılında yürürlüğe girmekle birlikte, AB çevresel mevzuatına uyum sağlamak ve yapılan incelemelerde uyumun yeterli düzeyde olduğu görülmektedir. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) süreci, çevresel sorunları sistematik bir şekilde değerlendirme amacını taşımaktadır. ÇED, sürdürülebilir kalkınma için önemli bir araçtır ve karar alma süreçlerine çevresel etkilerin dahil edilmesini hedeflemektedir. ÇED süreci, projenin ilk aşamalarında devreye girmekte ve beş ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar hazırlık çalışmaları, eleme, kapsamlandırma, halk katılımı ve rapor hazırlanmasından oluşmaktadır.

- *Hazırlık Çalışmaları ve Projenin Tanımlanması:* ÇED’e başvurulmadan önce, projenin fizibilite çalışmaları ve ÇED ekibi arasında sıkı bir koordinasyon sağlanmalı ve bu, çevresel sorunların etkin bir şekilde değerlendirilmesi için gerekmektedir.
- *Eleme :* Eleme aşamasında, projelerin ÇED raporuna tabi olup olmadığı belirlenmekte ve bu aşama, proje türüne bağlı olarak hangi faaliyetlerin çevresel etki değerlendirmesi gerektirdiğine karar verilmesini sağlamaktadır.
- *Kapsamlaştırma:* Bu aşama, çevresel etkilerin belirlenmesini ve analiz edilmesini sağlamaktadır. Projenin tüm alternatifleri ve çevresel etkilerinin kapsamı belirlenmektedir. Ayrıca, ÇED yöntemleri ile çevresel etkiler öngörülüp, analiz edilmektedir.
- *Halk katılımı:* Bu aşamada, proje ile ilgili çevresel etkiler konusunda toplumun görüş ve öneriler alınmakta ve ÇED sürecine dahil edilmektedir.
- *Rapor hazırlanması:* Bu aşamada ise yapılan tüm çalışmalar ve elde edilen bulgular sistematik biçimde değerlendirilerek ÇED raporu oluşturulmakta ve yetkili kurumlara sunulmaktadır(Yaş, 2018).

II. Dünya Savaşı sonrası Amerika, Avrupa ve Japonya’da hızlanan tüketime dayalı ekonomi, çevre maliyetlerini dikkate almadan kaynak kullanımını artırmış ve çevre koruma bilincini ön plana çıktığı görülmektedir. Bu süreçte çevreyi etkileyebilecek faaliyetlerin ekonomik karar

süreçlerine dahil edilmesi gerektiği fark edilmiş ve Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) gündeme gelmiştir. Türkiye’de ÇED uygulamaları, 7 Şubat 1993 tarihli Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği ile başlayarak; bu yönetmelik, ÇED raporları, ön araştırma raporları ve kontrol listeleri ile izleme ve denetlemelerin nasıl yürütüleceği belirtilmektedir. 2008 tarihli güncellemede ÇED, “projelerin çevreye olası olumlu ve olumsuz etkilerinin belirlenmesi, olumsuz etkilerin önlenmesi veya en aza indirilmesi için önlemlerin alınması, yer ve teknoloji alternatiflerinin değerlendirilmesi ve projelerin izlenmesi ve kontrolü” olarak tanımlanmaktadır(Gökçe & Barış, 2015). ISO 14001, kuruluşların çevre yönetimini sistematik bir şekilde ele almasını sağlayan ve atıkları azaltıp kaynak kullanımını optimize ederek hem çevresel hem de operasyonel sürdürülebilirliği artıran dünya çapında tanınan bir standarttır. Özellikle imalat sektörü, ISO 14001’i rekabet gücünü artıran ve sürdürülebilirliği teşvik eden stratejik bir araç olarak görülse de, ancak sürekli iyileştirme ve uyumluluk, yetersiz eğitimli işgücü ve uygulama eksiklikleri nedeniyle zaman zaman zorluklarla karşılaşabilmektedir. Yeşil üretim, üretim süreçlerini çevre dostu hâle getirerek atıkları azaltır, karbon emisyonlarını düşürür ve kaynak kullanımını optimize etmekte; bu sayede sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen kritik bir strateji olarak hizmet eder ve endüstriyel büyümenin ekolojik dengeyi bozmasını önlemektedir. Çevre politikaları, işletmeleri çevre dostu uygulamalara yönlendirerek kaynak verimliliğini artırmakta, atıkları azaltmakta, inovasyonu teşvik ederek ve ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasında denge sağlayarak uzun vadeli rekabet gücünü desteklemektedir (Alhamdi & Al-Kahtani, 2025).

Sonuç ve Tartışma

Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) faaliyetleri, 2872 Sayılı Çevre Kanununun 10. Maddesine istinaden 7 Şubat 1993 tarih ve 21489 sayılı Resmî Gazete’de “Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği”nin yayımlanmasıyla ülkemizde uygulanmaya başlamaktadır. Yönetmelik, uygulamada karşılaşılan sıkıntıların giderilmesi ve AB uyum süreci nedeniyle farklı zamanlarda güncellenmekte olup, yürürlükte olan son Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği (ÇEDY) 29.07.2022 tarihli ve 31907 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanmaktadır. ÇEDY kapsamında Ek-1 Listesi’nde yer alan projelere yönelik ÇED Olumlu ya da Olumsuz Kararı ÇŞİDB tarafından verilmektedir. Ek-2 Listesi’nde yer alan projelere yönelik ÇED Gereklidir ya da Gereklidir Değildir kararı ise Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlükleri tarafından verilmektedir. Tablo 1.’e göre Türkiye’de 2020 – 2023 döneminde ÇŞİDB tarafından verilen ÇED kararları yıllara göre değişmekte ve sürekli olarak güncellenmektedir(ÇŞİDB, 2025a) .

Tablo 1. 2020 – 2023 Döneminde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Tarafından Verilen ÇED Kararları Sayısı

Yıl	ÇED Olumlu Karar Sayısı	ÇED Olumsuz Karar Sayısı	ÇED Gereklidir Kararı	ÇED Gereklidir Değildir Kararı	ÇED Süreci İptal/İade Edilen
2020	390	6	2.822	58	514
2021	371	3	3.224	87	590
2022	437	4	4.025	82	745

Yıl	ÇED Olumlu Karar Sayısı	ÇED Olumsuz Karar Sayısı	ÇED Gereklidir Kararı	ÇED Gereklidir Değildir Kararı	ÇED Süreci İptal/İade Edilen
2023	511	10	4.224	55	780

Tablo 1.'e göre 2020–2023 döneminde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından verilen ÇED kararlarının dağılımına bakıldığında, ÇED olumlu kararların toplam kararlar içindeki oranı 2020 yılında %10,3 iken, 2021'de %8,7, 2022'de %8,3 ve 2023'te %9,2 olarak gerçekleşmiştir. ÇED olumsuz kararlar ise tüm yıllarda oldukça düşük seviyelerde olup %0,16'dan %0,18'e kadar değişim göstermiştir. “ÇED Gereklidir” kararı, her yıl kararların yaklaşık %75–76'sını oluşturarak en yüksek oranı temsil etmiştir; buna karşılık “ÇED Gereklidir Değildir” kararlarının oranı %0,99 ile %2,03 arasında değişmiştir. ÇED sürecinin iptal veya iade edildiği kararların oranı ise yıllar itibarıyla %13,6 ile %14,1 arasında değişmiş ve sürecin titiz bir değerlendirme içerdiğini göstermektedir.

2023 itibarıyla Türkiye’de 12.531 çevre mühendisi/ yetkilendirilmiş kişi, 675 çevre danışmanlık firması ve 403 çevre yönetim birimi yeterlik belgesi almıştır. Çevre danışmanlık firmaları, ÇŞİDB ve il müdürlükleri tarafından düzenli olarak denetlenmekte olup, 2019-2023 arasında denetim sayıları yıllara göre 228 ile 463 arasında değişmiştir. Türkiye Çevre Etiket Sistemi, 2018’de Çevre Etiket Yönetmeliği ile yürürlüğe girmiştir. Sistem, ürün ve hizmetlerin tüm yaşam döngüsündeki çevresel etkilerini değerlendirerek, çevreye daha duyarlı ürünleri teşvik etmektedir. ISO 14024 standardına uygun olarak üçüncü taraf doğrulama mekanizmasıyla yeşil aklamayı önlemektedir. Amaç, tüketicilerin ve tedarik zincirinin çevreye duyarlı ürünleri tercih etmesini sağlamak, ulusal ve uluslararası pazarda sürdürülebilir ürünlerin payını artırmaktır.



Şekil 1.Türkiye Çevre Etiket Logo

Türkiye Çevre Etiket Sistemi, ÇŞİDB koordinasyonunda yürütülmekte olup, Bakanlık, Çevre Etiket Kurulu, Teknik İnceleme Komisyonu, kamu ve özel kurumlar ile sivil toplum kuruluşlarının katılımıyla çevre etiket kriterleri geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Belge 4 yıl geçerlilikte olup, yıllık olarak denetlenmektedir. Gönüllülük esasına dayalı sistem, firmalara rekabet avantajı ve pazar payı artırma imkânı sağlamaktadır. Sistem, ISO 14024 Tip I standardına uygun şekilde, şeffaf, bilimsel ve bağımsız değerlendirmelerle çevresel performansı yüksek ürünleri eko-etiketle tanımlamaktadır.

Türkiye Çevre Etiket Sistemi'nde değerlendirilen ürünler, kimyasal kullanımı, enerji ve su tüketimi, emisyon sınırlamaları gibi çevresel etkiler göz önüne alınmakta ve ürün/hizmetler açısından güvenilir bir kıstas sağlamaktadır. Sistem ile düşük karbon emisyonu, atık önleme, enerji ve su tasarrufu, zararlı kimyasalların kullanılmaması gibi sürdürülebilir üretim ve tüketim uygulamaları teşvik edilmektedir. Çevre etiketi, hem ihracatta avantaj sağlamakta hem de iç pazarda ürünlerin tercih edilmesine imkân vermektedir. Mekanizma, döngüsel ekonomi ve iklim değişikliğiyle mücadele hedeflerine uygun olarak tasarlanmakta ve "Azaltım" başlığı altında sera gazlarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Türkiye Çevre Etiket Sistemi, Yeşil Mutabakat Eylem Planı ve 12. Kalkınma Planı çerçevesinde yaygınlaştırılmakta ve çevre dostu ürün/hizmetlerin rekabet gücü artırılmaktadır. Türkiye Çevre Etiket Sisteminin yaygınlaştırılması kapsamında yapılan çalışmalar neticesinde, şu an itibarıyla tekstil, seramik kaplama, temizlik kağıdı, turistik konaklama hizmetleri, elde bulaşık yıkama deterjanları, kişisel bakım ürünleri, cam ürünleri, çamaşır makinası deterjanları, bulaşık makinası deterjanları, sert yüzey temizleyiciler, doğal taş ve yatak olmak üzere 12 ürün/hizmet grubunda kriterler belirlenmiş ve yayımlanmaktadır (ÇŞİDB, 2025b).

Ormanlar, gıda, yakıt, kereste, ekolojik hizmetler ve kültürel faydalar gibi çok çeşitli katkılar sağlayarak insan refahını desteklemektedir. Rehabilitasyon veya restorasyon yoluyla artan orman örtüsü ise kırsal geçim kaynaklarını iyileştirmekte ve biyolojik çeşitliliği ve çevre hizmetlerini güçlendirmekte ve iklim değişikliğinin etkilerini azaltmaktadır. Bu nedenle, orman yönetimini ve orman geçişini geliştirmek için orman değişimine yol açan faktörlerin daha iyi anlaşılması gerekmektedir. Vietnam'da yapılan bir çalışmada 1990–2010 yılları arasında ormanların net kayıptan net artışa geçişini incelemiş ve Dien Bien eyaletinde yaklaşık 118.000 hektarlık ormanın rehabilite edildiği, rehabilite edilen ormanlar toplam artışın büyük kısmını oluşturarak ve biyofiziksel ile erişilebilirlik faktörleriyle ilişkili bulunmuştur. Sonuç olarak çiftçilerin gelirlerinin artmasının orman alanının genişlemesini teşvik edebileceğini ve geçim kaynaklarının iyileştirilmesinin restore edilmiş ormanlarla pozitif bir ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir. Tarımsal yoğunlaşma ve kalkınma politikaları, özellikle arazi mülkiyeti ve sürdürülebilir kullanım ile birleştirildiğinde, yeniden ağaçlandırma çabalarını desteklemektedir. Ancak endüstriyel ağaçlandırma programları kısa vadede gelir artışı sağlasa da, bazı türlerin ekosistem üzerinde zararlı etkileri olabileceğinden uzun vadede kırsal geçim ve çevresel sürdürülebilirlik açısından dikkatle yönetilmesi gerekmektedir (Khuc et al., 2025). Çin'de yapılan bir çalışmada enerji sistemlerinin çevresel etkilerini değerlendirmek için yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) yöntemi kullanılmış ve termik enerji üretiminden yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin çevresel etkilerin azaltılmasında kritik bir rol oynayabileceğini ve sürdürülebilir kalkınmayı destekleyebileceğini göstermişlerdir. Yapısal emisyon azaltımı, enerji üretim birimlerinin modernizasyonu, eski ünitelerin değiştirilmesi ve enerji yapısındaki dönüşümler gibi endüstriyel yeniden yapılanma önlemlerini kapsamakta ve kaynaktan kirletici madde üretimini minimize etmeyi amaçlayarak, şehir ölçeğinde hava kalitesinin iyileştirilmesi ve karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik politika ve stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla, kısa vadeli yapısal önlemlerin etkili bir şekilde uygulanması, hem kentsel çevre yönetimi hem de ulusal karbon nötrlüğü hedefleri açısından stratejik bir öncelik teşkil etmektedir (Li et al., 2025). Şili'de yapılan bir çalışmada Quintero–Puchuncaví bölgesi, Ventanas Endüstri Kompleksi (VIC) kaynaklı PM_{2,5} hava kirliliği nedeniyle son 25 yılda çevresel etki değerlendirme sistemi (EIAS) olmasına rağmen artış göstermiş ve VIC'de yürütülen projelerin büyük çoğunluğunun (%87) Çevresel Etki Beyanı (ÇED) kapsamında değerlendirildiğini ve süreçlerin derin analiz, halk katılımı ve emisyon modellemesi açısından yetersiz olduğunu göstermektedir. Benzer çevresel ve sürdürülebilir kalkınma sorunları yaşayan diğer ülkeler için de EIAS'ın etkinliğini artıracak iyileştirmelerin gerekliliğini ortaya

koymaktadır(Navea & Oyarzún, 2025). Nijerya'da yapılan çalışmada petrol şirketlerinin neden olduğu sızıntılar, gaz yakma ve yangınlar çevre, ekonomik faaliyetler ve geçim kaynakları üzerinde ağır olumsuz etkiler yaratmıştır. Petrol ve gaz endüstrisinde faaliyetlerin etkin biçimde yönetilmesi için Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) mekanizmasının güçlendirilmesi beklenmesine rağmen, bu alanda yeterli ilerleme sağlanamamıştır. Yetersiz denetim ve uygulama, mevcut yasal ve kurumsal düzenlemelere rağmen ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır. Çalışma, petrol ve gaz sektöründeki faaliyetlerin ÇED gereklilikleri başta olmak üzere ulusal ve uluslararası hukuk normlarına uyum düzeyini incelemektedir. ÇED Yasası'nın diğer hedefleri arasında doğal kaynakların sorumlu kullanımı ve işletilmesi, ekosistemin sürdürülebilir üretkenliğinin sağlanması, hava, toprak ve suyun korunması gereken taşıma ve emme kapasitesine sahip olması, çevre kalitesinin bozulmasının önlenmesi gibi amaçlar yer almakta ve bu hedefler doğrultusunda çevresel etkiler değerlendirilmekte ve yönetilmektedir(Oturuhoyi & Modupe, 2025).

Ulaşım altyapı projelerinde ÇED ve girdi-çıktı analizinin vurgulandığı çalışmada ulaşım altyapısı (özellikle raylı sistemler ve havaalanları) projelerinde geleneksel ÇED yöntemlerinin eksikliklerini ele almaktadır. Geleneksel Çevresel Etki Beyanı (ÇEB/EIS) yöntemlerinin, projelerin yalnızca saha içi (doğrudan) etkilerini ölçtüğü, ancak malzeme üretimi gibi saha dışı (dolaylı) etkileri kaçırdığı vurgulanmıştır. Çalışmada, ÇED sürecini geliştirmek için Girdi-Çıktı (Input-Output) analizi ile birleştirilmiş hibrit bir yaklaşım önerir. Bu model, projenin sadece inşaat sırasındaki değil, tedarik zincirindeki (örn. çimento ve çelik üretimi) dolaylı çevresel etkilerini de hesaplar. Sonuç olarak bu yaklaşım, ÇED denetimini kolaylaştırır ve alternatif seçeneklerin sıralanması yeteneğini artırır (Gharehbaghi et al., 2022).

Cave vd. (2021) yaptığı çalışmada ÇED sürecine insan sağlığının entegrasyonunu incelemiştir. Çalışmada, Avrupa Birliği'nin 2014/52/EU sayılı Direktifi ile ÇED süreçlerine "insan sağlığı"nın dahil edilmesini ve sağlık sektörünün bu süreçteki rolünü incelemektedir. ÇED kapsamında sağlık, sadece "hastalığın olmaması" değil, WHO'nun tanımıyla "tam bir fiziksel, zihinsel ve sosyal iyilik hali" olarak ele alınmalıdır. ÇED sürecine halk sağlığı uzmanlarının erken aşamada (kapsam belirleme/scoping) dahil olması gerektiği vurgulanmaktadır. Bir sağlık etkisinin "önemli" olup olmadığına karar verirken sadece istatistiksel veriler değil, toplumsal değerler, savunmasız grupların durumu ve sağlıkta eşitlik (equity) ilkeleri de göz önüne alınması gerekliliği vurgulanmıştır (Cave et al., 2021).

Portekiz'deki üniversitelerde ÇED eğitiminin durumunu inceleyen bir araştırmada ED dersleri en çok çevre mühendisliği (%29) ve inşaat mühendisliği (%20) programlarında yer aldığı belirtilmiştir. Çoğu ders temel ÇED süreçlerini (tarama, kapsam belirleme) kapsarken; halkın katılımı, sağlık etki değerlendirmesi, sosyal etki değerlendirmesi ve takip (follow-up) gibi daha karmaşık ve yeni konular müfredatta nadiren bulunduğu tespit edilmiştir. ÇED raporlarının kalitesini artırmak için danışmanların akreditasyonu ve sürekli mesleki eğitim gerekliliği vurgulanmıştır (Ramos et al., 2008).

Literatürde ve uygulamada ÇED takibinin genellikle ihmal edildiği ve sürecin proje onayı ile bittiği algısının yaygın olduğu belirtilmektedir (Morrison-Saunders et al., 2021). Yapılan çalışmada ÇED takibinin önemini vurgulamak ve sürdürülebilirliğini artırmak için yeni ilkeler önerilmektedir. Bu ilkeler arasında hesap verebilirlik, uyarlanabilir çevre yönetimi (adaptive management), sürekli öğrenme ve uygulama/yaptırım (enforcement) öne çıkmaktadır (Morrison-Saunders et al., 2021). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde uygulanan ÇED sistemlerinde keyfi yöntemler ve yasal zorunluluğu yerine getirme şeklinde yorumlandığı

gözetilmiştir. Halk katılımları genellikle proje onaylandıktan sonra göstermelik şekilde yapıldığı belirtilmiştir (Bhatt, 2023).

Nijerya'daki baz istasyonu projeleri için hazırlanan 80 adet ÇED raporunun kalitesi değerlendirilmiştir. Raporların %73'ü "tatmin edici olmayan kalite notu almıştır. Raporların en zayıf olduğu kısımlar arazi duyarlılığı, etki tahmini (özellikle kuş çarpışmaları ve görsel etkiler) ve hafifletme önlemleri/alternatifler olarak belirlenmiştir. Proje tanımları ve rapor sunum formatları (mizanpaj) genellikle tatmin edici bulunmuştur. Çalışma, ÇED raporlarının karar vericiler için yeterli bilgi sağlamadığını ve "amaca uygun olmadığını" ortaya koymuştur (Choji et al., 2022).

Uganda'da 25 yıllık ÇED deneyimini inceleyen bir çalışmada, yasal çerçeve ile sahadaki uygulama arasındaki boşlukları analiz etmektedir. Kapsamlı yasal düzenlemelere rağmen su kirliliği ve çevre degradasyonu artmaktadır. Bunun nedenleri arasında zayıf halk katılımı, siyasi müdahaleler ve yetersiz izleme (follow-up) süreçleri gösterilmektedir (George et al., 2020).

Küresel bağlantılar kuran ve ekonomik büyüme sağlayan canlı bir sektör olan turizmde, 2023'ün ilk çeyreğinde 235 milyon turist dünya çapında seyahat etmiş ve bu sektöründe hızlı büyümesiyle, yüksek karbon yoğunluğu ve çevresel kirlilik nedeniyle çevre dostu uygulamaların optimize edilmesi gerekmektedir. Arabistan Körfezi bölgesinde yapılan çalışmada dijitalleşmenin ekoturizm ve enerji yönetimi bağlamında çevre dostu davranışları incelemiş, buna göre, turizm sektörünün olumsuz ekolojik etkilerini vurgularken, enerji yönetimi ve dijital platformların sürdürülebilir seyahati teşvik etmede kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca karbon emisyonlarını azaltmayı ve turizmde daha geniş sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkıda bulunmayı amaçlayan yeni bir dijital stratejik modeli önermektedir (Baqi et al., 2025). ÇED bakımından önemli bir atık türü de tehlikeli atıklardır. Tehlikeli atıkların başlıca kaynakları endüstriyel faaliyetler, madencilik ve pestisit kullanımıdır. Hindistan'da özellikle kimya endüstrisi; petrokimya, ilaç, pestisit, boya, gübre, petrol ve inorganik kimyasallar gibi sektörler aracılığıyla tehlikeli atık üretiminin en önemli kaynağını oluşturmaktadır. Bu atıklar; ağır metaller, siyanürler, pestisitler ve kompleks aromatik bileşikler gibi toksik, yanıcı, reaktif, aşındırıcı veya patlayıcı özelliklere sahip maddeler içermekte ve çevre ile insan sağlığı açısından ciddi riskler yaratmaktadır. Hindistan'da yapılan çalışmada hızlı nüfus artışı ve değişen yaşam tarzları nedeniyle belediye katı atık miktarı da önemli ölçüde arttırmış ve bu durum, tehlikeli ve endüstriyel atıkların yönetimini daha da kritik hale getirmektedir. Tehlikeli katı atıkların bilimsel yöntemlerle bertaraf edilmesi, atık miktarının azaltılması ve daha temiz üretim teknolojilerinin benimsenmesini teşvik eden politikaların uygulanmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Tehlikeli atık yönetimine yönelik politikalar, atıkların bilimsel yöntemlerle bertaraf edilmesini, atık miktarının azaltılmasını ve daha temiz teknolojilerin benimsenmesini temel hedef olarak benimsemektedir. Bu doğrultuda Hindistan Hükümeti tarafından çeşitli önlemler hayata geçirilmiştir. Çevre ve Orman Bakanlığı eyaletler genelinde tehlikeli atık envanteri oluşturma çalışmalarını başlatmış; eyalet yönetimleri ise ÇED sonuçlarına dayanarak uygun tehlikeli atık bertaraf sahalarını belirlemektedir. Merkezi Kirlilik Kontrol Kurulu , tehlikeli atıkların kaynakları, özellikleri ile geri dönüşüm ve bertaraf yöntemlerine ilişkin teknik bilgiler içeren rehberler oluşturulmuştur (Khilare & Gangawane, 2007). Ekonomik faaliyetler ile çevre kalitesi arasındaki ilişki uzun süredir tartışılmakta olup, ekonomik büyüme çevre üzerinde baskı oluşturabilmektedir. Bu nedenle büyüme hedefleri izlenirken çevrenin korunması önemlidir. 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi (SDG'ler), yoksulluğu ortadan kaldırırken çevreyi korumayı hedeflemektedir. Özellikle iklim değişikliği ve sera gazı emisyonları, Sahra Altı Afrika gibi çevreye ekonomik olarak bağımlı bölgelerde büyük risk

oluşturmaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için finansal gelişme kritik önemdedir; çünkü finansal kaynaklara erişim, ekonomik büyümeyi destekleyerek yoksulluğun azaltılmasına ve çevresel bozulmanın önlenmesine katkı sağlamaktadır (Alhassan et al., 2022). ÇED çalışmalarında karşılaşılan sorunlar bulunmaktadır. Bunlar;

- Bütünleştirme Sorunu: Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) ve Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD) arasındaki entegrasyon, projelerin uzun dönemli planlama ve sektörler arası çakışmaları engellemek için çok önemlidir.
- Ekonomi-Çevre İlişkisi: Bazı projelerde, çevresel etkiler göz ardı edilerek sadece ekonomik faydalar ön planda tutulmakta, bu da doğru fayda-maliyet analizlerinin yapılmamasına yol açmaktadır.
- Fayda-Maliyet Analizi Sorunları: ÇED raporlarında, çevresel zararların ekonomik değerinin belirlenmesi gerektiği ifade edilmektedir. Sonuç olarak, ÇED raporlarında çevresel etkiler ve ekonomik analizlerin bütünsel bir şekilde ele alınması ve hem mikro hem de makro düzeyde doğru fayda-maliyet analizlerinin yapılması gerektiği vurgulanmaktadır (Ulusoy, 2019).

Sonuç olarak çevre yönetimi, doğal kaynakların korunmasını ve çevresel etkilerin kontrolünü amaçlarken, sürdürülebilir kalkınma ekonomik ve sosyal gelişimi çevresel denge ile birleştirmektedir. Bu bağlamda ÇED, projelerin çevreye olası etkilerini analiz ederek zararları önleyici ve azaltıcı tedbirlerin geliştirilmesini sağlamaktadır. ÇED raporları, çevresel etkilerin incelenmesi, alternatif çözümlerin sunulması ve halkın katılımının sağlanmasını kapsamakta ve yönetimin görevi rolü ise çevre standartlarını belirlemek, biyolojik çeşitliliği korumak, sürdürülebilir projeleri desteklemek ve ilgili paydaşların sürece katılımını sağlamaktır.

Kaynakça

- Alhamdi, F. M., & Al-Kahtani, S. M. (2025). The impact of applying environmental management standards in achieving sustainable development: evidence from food product manufacturing companies in Saudi Arabia. *Discover Sustainability*, 6(1), 59.
- Alhassan, H., Kwakwa, P. A., & Donkoh, S. A. (2022). The interrelationships among financial development, economic growth and environmental sustainability: evidence from Ghana. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(24), 37057-37070.
- Baqi, A., Abdeldayem, M. M., Al-Daoud, K. I., Aldulaimi, S. H., & Abu-AlSondos, I. A. (2025). Digital Transformation and Sustainable Tourism: Enhancing Pro-Environmental Behavior (PEB) and Energy Management in the Gulf Region. 2025 3rd International Conference on Business Analytics for Technology and Security (ICBATS),
- Bhatt, R. P. (2023). Environmental Impact Assessment System and Process in Developing Countries. *Open Journal of Ecology*, 13(12), 977-1009. <https://doi.org/10.4236/oje.2023.1312059>
- Cave, B., Pyper, R., Fischer-Bonde, B., Humboldt-Dachroeden, S., & Martin-Olmedo, P. (2021). Lessons from an International Initiative to Set and Share Good Practice on Human Health in Environmental Impact Assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1392. <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/4/1392>
- Choji, V. D., Rampedi, I. T., Modley, L.-A., & Ifegbesan, A. P. (2022). An Evaluation of the Quality of Environmental Impact Assessment Reports in the Mobile Telecommunications Infrastructure Sector: The Case of Plateau State in Nigeria. *International Journal of*

Environmental Research and Public Health, 19(19), 12659.

<https://doi.org/10.3390/ijerph191912659>

ÇŞİDB, Ç., Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2025a). 2020 – 2023 Döneminde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Tarafından Verilen ÇED Kararları Sayısı

ÇŞİDB, Ç., Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2025b). Çevre Etiket Sistemi.

Retrieved from <https://cevreetiketi.csb.gov.tr/cevre-etiketi-i-111609>

Eskin, B. (2024). AKSARAY İLİNDE ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ ÇED UYGULAMALARININ ANALİZİ. *Kesit Akademi Dergisi*(14), 115-126.

George, T. E., Kiemo, K., & Andama, E. (2020). An Evaluation of the Environmental Impact Assessment Practice in Uganda: Challenges and Opportunities for Achieving Sustainable Development. *Heliyon*, 6(9), e04758. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04758>

Gharehbaghi, K., Hosseinian-Far, A., & Hilletoft, P. (2022). The Predicaments of Environmental Impact Assessment (EIA) for Transport Infrastructure: An Examination of Policy Stagnation and Progress. *Transforming Government People Process and Policy*, 16(4), 449-463. <https://doi.org/10.1108/tg-04-2022-0055>

Gökçe, G. C., & Barış, M. E. (2015). Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED)-Stratejik Çevresel Değerlendirme (SÇD) ilişkisi ve peyzaj planlama sürecinde stratejik çevresel değerlendirmenin önemi. *International Journal of Science Culture and Sport (IntJSCS)*,(3).

Khilare, V., & Gangawane, L. (2007). Municipal solid and hazardous waste management: a review. *Sustainable Environmental Management: Dr. Jayashree Deshpande Festschrift Volume*, 152.

Khuc, V. Q., Tran, B. Q., Nong, D., Nguyen, T. H., Nguyen, M.-H., Le, T.-T., Lich, H. K., Meyfroidt, P., Van Pham, D., & Leisz, S. J. (2025). Driving forces of forest cover rehabilitation and implications for forest transition, environmental management and upland sustainable development in Vietnam. *Environment, Development and Sustainability*, 27(3), 6619-6639.

Kim, Y., Sung, H. C., Choi, Y., Lim, N. O., Lee, J., Kim, G., Jeong, D., Kim, M., Hwang, J., & Jeon, S. (2025). An enhanced framework for data-based environmental impact assessment in reflection of public input. *Journal of Environmental Planning and Management*, 68(13), 3274-3293.

Li, A., Li, X., Chan, Y., & Ma, W. (2025). Using life cycle assessment to evaluate the environmental impact of the thermal power industry. *Carbon Management*, 16(1), 2522082.

Morrison-Saunders, A., Arts, J., Bond, A., Pope, J., & Retief, F. (2021). Reflecting On, and Revising, International Best Practice Principles for EIA Follow-Up. *Environmental Impact Assessment Review*, 89, 106596. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106596>

Navea, A., & Oyarzún, R. (2025). Environmental impact assessment and sustainable development: when reality departs theory; insights and lessons from the "sacrifice zone" of Quintero–Puchuncaví, Chile. *Environment, Development & Sustainability*, 27(6).

Oturuhoyi, A. E., & Modupe, A. D. (2025). ENFORCEMENT OF ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT IN THE OPERATIONS OF THE OIL AND GAS INDUTRY IN

NIGERIA: NEED FOR A PARADIGM SHIFT. *AGORA International Journal of Juridical Sciences*, 19(2), 265-280.

Ramos, T. B., Cecílio, T., & Melo, J. J. d. (2008). Environmental Impact Assessment in Higher Education and Training in Portugal. *Journal of Cleaner Production*, 16(5), 639-645. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.02.008>

Saygılı, A. (2007). *Çevre hukuku açısından çevresel etki değerlendirmesi* [Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi].

Ulusoy, C. K. (2019). Çevresel Etki Değerlendirme Sürecinde Çevre–Ekonomi İkilemi. *Kent ve Çevre Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 58-82.

Yaş, H. (2018). Türkiye’de çevresel etki değerlendirmesi ve stratejik çevresel değerlendirme uygulaması üzerine genel bir değerlendirme. *Kent Akademisi*, 11(1), 29-43.

NUTRITIONAL VALUE OF CORN SILAGE IN RUMINANT NUTRITION: IMPLICATIONS FOR ANIMAL PERFORMANCE AND SUSTAINABILITY

RUMINANT HAYVAN BESLEMEDE MISIR SİLAJININ BESİN DEĞERİ, HAYVAN PERFORMANSI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK AÇISINDAN ÖNEMİ

Assist. Prof. Ceyhun YÜCEL

Yozgat Bozok University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, Department
of Feeds and Animal Nutrition, Yozgat, Türkiye

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1978-9051>

ABSTRACT

The insufficiency of roughage resources and increasing feed costs have heightened the importance of high-efficiency and sustainable feeding strategies in ruminant nutrition. In this context, corn silage stands out as a strategic roughage source in ruminant feeding due to its high energy content and digestibility, its adaptability to a wide range of irrigated climatic conditions, and its high biomass yield per unit area. The objective of this review is to critically and comprehensively evaluate the chemical composition and nutritive value of corn silage, as well as its effects on rumen fermentation, animal performance, and sustainable economic livestock production, based on current scientific literature.

This study is a literature review conducted based on peer-reviewed scientific articles, reviews, and meta-analyses published between 2000 and 2025. The literature search was performed using the Web of Science, Scopus, PubMed, ScienceDirect, and DergiPark databases. The reviewed studies were classified and synthesized under the following headings: dry matter, crude protein, NDF, ADF, lignin, and starch content of corn silage; silage quality; rumen fermentation; milk and growth performance; and environmental impacts.

The literature findings indicate that the high energy content and digestibility of corn silage positively influence milk yield, body weight gain, and feed efficiency in ruminants. It has been reported that corn silage produced under optimal harvest timing and effective fermentation conditions can improve rumen fermentation profiles by increasing propionic acid production and reducing methane emissions per unit of product. However, it has also been emphasized that poor silage quality may lead to reduced performance and increased metabolic risks.

This review demonstrates that corn silage is not only a high-quality and efficient roughage source in ruminant nutrition but also a strategic feed resource that supports economic and environmental sustainability. Nevertheless, more comprehensive evaluations of its long-term effects across different animal species, production systems, and climatic conditions are required.

Keywords: Corn silage, Ruminant nutrition, Animal performance, Rumen fermentation, Sustainable livestock production, Roughage resources

ÖZET

Kaba yem kaynaklarının yetersizliği ve artan yem maliyetleri, ruminant beslemede yüksek verimli ve sürdürülebilir yem stratejilerinin önemini artırmaktadır. Bu noktada mısır silajı, enerji içeriğinin ve sindirilebilirliğinin yüksek olması, silaj yapılan mısır bitkisinin adaptasyon yeteneğine bağlı olarak sulanabilen her iklim koşulunda yetiştirilebilmesi ve birim alanda bol ürün vermesi gibi birçok üstün özellik ruminant beslemede stratejik bir kaba yem kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Bu derlemenin amacı, mısır silajının kimyasal bileşimi ve besin değeri ile rumen fermentasyonu, hayvan performansı ve sürdürülebilir ekonomik hayvancılık üzerindeki etkilerini güncel literatürlerden yararlanarak kapsamlı ve eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirmektir.

Bu çalışma, 2000–2025 yılları arasında yayımlanmış hakemli bilimsel makaleler, derlemeler ve meta-analizler esas alınarak yürütülen bir literatür derlemesidir. Literatür taraması; Web of Science, Scopus, PubMed, ScienceDirect ve DergiPark veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. İncelenen çalışmalar; mısır silajının kuru madde, ham protein, NDF, ADF, lignin ve nişasta içeriği, silaj kalitesi, rumen fermentasyonu, süt ve besi performansı ile çevresel etkiler başlıkları altında sınıflandırılarak sentezlenmiştir.

Literatür bulguları, mısır silajının sahip olduğu yüksek enerji ve sindirilebilirliği sayesinde süt verimi, canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma oranlarını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Uygun hasat zamanı ve etkili fermentasyon koşullarında üretilen mısır silajlarının rumen fermentasyon profilini iyileştirerek propiyonik asit üretimini artırabileceği ve birim ürün başına metan salınımını azaltabileceği bildirilmiştir. Bununla birlikte, silaj kalitesinin düşük olması durumunda performans ve metabolik risklerin ortaya çıkabileceği de vurgulanmıştır.

Bu derleme, mısır silajının ruminant beslemede sadece yüksek besin değeri ve verimliliğe sahip bir kaba yem değil, aynı zamanda ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyen stratejik bir yem kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak farklı hayvan türleri, üretim sistemleri ve iklim koşullarında uzun dönemli etkilerin daha kapsamlı şekilde değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mısır silajı, Ruminant besleme, Hayvan performansı, Rumen fermentasyonu, Sürdürülebilir hayvancılık, Kaba yem kaynakları

1. GİRİŞ

Mısır silajı, dünya genelinde ruminant hayvan beslemede en yaygın kullanılan kaba yemlerden biri olup, yüksek kuru madde verimi, enerji yoğunluğu ve hayvanlar tarafından

yüksek düzeyde tüketilmesinden dolayı önemli ve stratejik bir kaba yem kaynağıdır (Wilkinson ve Rinne, 2018). Özellikle süt ve besi sığırcılığında, rasyonların enerji dengesinin sağlanmasında önemli bir role sahiptir (NRC, 2001). Türkiye’de kaliteli kaba yem açığı, ruminant üretiminin ekonomik sürdürülebilirliğini sınırlayan temel sorunlardan biridir. Bu durumda mısır silajı, birim alandaki verimi ve yüksek enerji üretimi sayesinde hem ekonomik hem de besleme açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Keleş ve Çıbık, 2014). Son yıllarda Türkiye’deki süt sığırı işletmelerinde mısır silajının rasyonlardaki payının %40–50’ye kadar ulaştığı rapor edilmiştir. Ruminant beslemede mısır silajının stratejik önemi, yalnızca performans artışı ile sınırlı değildir. Güncel çalışmalar, mısır silajı bazlı rasyonların rumen fermentasyonunu yükselterek metabolik stabiliteyi artırdığını (Oba ve Allen, 2003; Li ve ark., 2024) ve aynı zamanda enterik metan emisyonunu azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Hristov ve ark., 2013; FAO, 2024).

Bu bildirinin amacı, mısır silajının kimyasal bileşimi, silaj kalitesini etkileyen faktörler ve hayvan performansı üzerindeki etkilerini literatür verileri ışığında sistem temelli bir yaklaşımla değerlendirmek; ayrıca mısır silajının ekonomik, çevresel ve sürdürülebilir hayvancılık politikaları açısından taşıdığı stratejik önemi ortaya koymaktır.

2. METOD

Bu çalışma, mısır silajının ruminant hayvan beslemedeki besin değeri, hayvan performansı ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini değerlendiren derleme niteliğinde bir araştırmadır. Literatür taraması; Web of Science, Scopus, PubMed, ScienceDirect ve DergiPark veri tabanlarında 2000–2025 yılları arasında yayımlanmış bilimsel çalışmalar esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Seçilen kaynaklar, mısır silajının kimyasal bileşimi, silaj kalitesi, rumen fermentasyonu, hayvan performansı ve çevresel etkiler başlıkları altında karşılaştırmalı ve sentezleyici bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

3. MISIR SİLAJININ KİMYASAL BİLEŞİMİ VE BESİN DEĞERİ

Mısır silajının kimyasal bileşimi; genotip, çevresel koşullar, hasat zamanı ve silaj yapım tekniklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Ferraretto ve ark., 2018). Genellikle ideal mısır silajı %30–35 kuru madde içeriğine sahiptir ve bu aralık fermentasyon kalitesi açısından optimum kabul edilmektedir (Kung ve ark., 2018). Ham protein içeriği genellikle %7–9 düzeyinde olup, mısır silajı protein açısından sınırlı bir yemdir (Khan ve ark., 2015). Bu nedenle rasyonlarda protein açısından tamamlayıcı yem kaynaklarının kullanılması zorunludur. Lif fraksiyonları açısından mısır silajında NDF oranı %40–50, ADF oranı %20–30 aralığında değişmektedir. Düşük lignin içeriği, lif sindirilebilirliğini artırarak ruminal enerji kullanımını iyileştirmektedir (Oba ve Allen, 2005; Weiss ve ark., 2004). Nişasta içeriği ise %30–40 düzeylerine ulaşabilmekte ve bu durum mısır silajını yüksek enerjili bir kaba yem haline getirmektedir (Ferraretto ve ark., 2018; Khan ve ark., 2015).

Sindirilme derecesi ve net enerji değeri bakımından mısır silajı, çayır otu ve birçok baklagil silajına kıyasla üstünlük göstermektedir (Weiss ve ark., 2004). Bu durum, yemden

yararlanmayı artırarak üretim maliyetlerini düşürmektedir. Mısır silajı, yüksek nişasta içeriği ve sindirilebilir lif fraksiyonları sayesinde ruminant beslemede enerji yönünden üstün bir kaba yem kaynağıdır. Bununla birlikte ham protein içeriğinin sınırlı olması, rasyon formülasyonunda protein dengelemesini zorunlu kılmaktadır. Silajın besin değerinden maksimum düzeyde yararlanılabilmesi, uygun hasat zamanı ve fermentasyon yönetimi ile kimyasal bileşimin optimize edilmesine bağlıdır.

4. SİLAJ KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Silaj kalitesi, mısır silajının besleme değerini belirleyen en kritik faktördür. Hasat zamanı, silaj kalitesini doğrudan etkileyen temel unsur olup, uygun olgunluk döneminde yapılan hasat nişasta/NDF dengesini yükseltmektedir (Bal ve ark., 2000). Hibrit seçimi, özellikle tane/lif oranı ve NDF sindirilebilirliği üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, farklı mısır çeşitlerinden elde edilen silajların büyüme performansı, et kalitesi ve sindirilebilirlik üzerinde anlamlı farklılıklar oluşturduğunu göstermektedir (Yan ve ark., 2025). Silaj yapım teknikleri ve fermentasyon süreci, kaliteyi belirleyen diğer önemli faktörlerdir. Uygun doğrama boyu, yeterli sıkıştırma ve anaerobik koşulların sağlanması, laktik asit bakterilerinin etkinliğini artırmaktadır (Kung ve Shaver, 2001). Mikrobiyal inokülanların kullanımı, fermentasyon kalitesini iyileştirerek besin kayıplarını azaltmakta ve hayvan performansını olumlu yönde etkilemektedir (Der Bedrosian ve Kung, 2018). Mısır silajı kalitesinin belirlenmesinde hasat zamanı, hibrit özellikleri ve fermentasyon yönetimi birbiriyle etkileşimli faktörler olarak değerlendirilmelidir. Literatür bulguları, yalnızca uygun olgunluk döneminde hasadın yeterli olmadığını; hibrit seçimi ve silaj yapım tekniklerinin de besin madde korunumu ve sindirilebilirlik üzerinde kritik rol oynadığını rapor etmektedir. Özellikle mikrobiyal inokülan kullanımının, fermentasyon sürecini stabilize ederek silaj kalitesini ve hayvan performansını artırdığı görülmektedir. Bu nedenle, yüksek kaliteli mısır silajı üretimi, tarla yönetiminden silo açımına kadar sistem temelli bir yaklaşım gerektirmektedir.

5. HAYVAN PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİLERİ

5.1. Süt Verimi ve Süt Bileşenleri Üzerine Etkileri

Mısır silajı, yüksek nişasta içeriği ve sindirilebilir lif çeşitliliği sayesinde süt sığırlarında enerji alımını artırarak süt verimi üzerinde belirgin etkilere sahiptir. Literatürde, mısır silajının rasyonun temel kaba yem kaynağı olarak kullanıldığı sistemlerde kuru madde tüketiminin arttığı ve buna paralel olarak günlük süt veriminde anlamlı artışlar sağlandığı bildirilmiştir (Oba ve Allen, 2003; Khan ve ark., 2015).

Süt bileşenleri açısından değerlendirildiğinde, mısır silajına dayalı rasyonların süt proteini oranını desteklediği, ancak süt yağı oranının rasyondaki etkin lif düzeyi, partikül uzunluğu ve ruminal asetik/propiyonik asit dengesiyle yakından ilişkili olduğu belirtilmiştir (Weiss ve ark., 2004; Kung ve ark., 2018). Özellikle iyi fermente edilmiş ve uygun hasat olgunluğunda üretilmiş mısır silajlarının, süt yağı depresyonu riskini azaltarak dengeli bir süt kompozisyonu sağladığı vurgulanmıştır. Mevcut bulgular, mısır silajının süt verimi üzerindeki olumlu

etkilerinin yalnızca yüksek enerji içeriğinden değil, aynı zamanda rumen fermentasyonunu destekleyen lif yapısından kaynaklandığını göstermektedir. Ancak süt yağı oranındaki değişkenlik, mısır silajının hasat zamanı ve fiziksel yapısının rasyon formülasyonunda dikkatle ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, mısır silajının süt bileşenleri üzerindeki etkileri rasyonun birlikte ele alındığı yapı içerisinde değerlendirilmelidir.

5.2. Besi Performansı ve Yemden Yararlanma

Mısır silajı, besi sığırlarının beslenmesinde hem kaba yem hem de enerji kaynağı olarak önemli bir rol oynamaktadır. Yüksek kaliteli mısır silajı ile beslenen hayvanlarda canlı ağırlık artışının ve yemden yararlanma oranının iyileştiği birçok çalışma ile ortaya konmuştur (ZoBell ve ark., 2002; Ferraretto ve ark., 2018). Bununla birlikte, silajın nişasta içeriği ve tane işleme düzeyi, performans üzerindeki etkiyi belirleyen temel faktörler arasında yer almaktadır.

Aşırı nişasta alımı, ruminal asidoz ve metabolik bozukluk riskini artırabileceğinden, besi rasyonlarında mısır silajının uygun oranlarda kullanılması ve yeterli etkin lif sağlanması gerekmektedir. Bu denge sağlandığında, mısır silajı bazlı rasyonların hem büyüme performansı hem de karkas özellikleri üzerinde olumlu etkiler gösterdiği tespit edilmiştir (Bal ve ark., 2000; Yan ve ark., 2025). Besi sığırlarında mısır silajı, uygun kalite ve işleme düzeyinde kullanıldığında büyüme performansını destekleyen etkili bir yem kaynağıdır. Bununla birlikte, nişasta düzeyi yüksek silajların kontrolsüz kullanımı metabolik riskleri artırabileceğinden, besi rasyonlarında etkin lif ve konsantre yem dengesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, mısır silajının besi performansına katkısı yönetim ve besleme stratejilerine doğrudan bağlıdır.

5.3. Rumen Fermentasyonu ve Metabolik Etkiler

Mısır silajının rumen fermentasyonu üzerindeki etkileri, nişasta sindirilebilirliği ve lif fraksiyonlarının yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Mısır silajı bazlı rasyonların rumende propiyonik asit üretimini artırarak enerji verimliliğini yükselttiği ve glukoz prekürsörlerinin oluşumunu desteklediği ifade edilmiştir (Oba ve Allen, 2005). Bununla birlikte, silaj kalitesi düşük olduğunda veya fermentasyon istenilen düzeyde gerçekleşmediğinde, rumen pH'sında düşüş, mikrobiyal denge bozuklukları ve performans kayıpları olarak ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, mısır silajı kaynaklı rumen mikrobiyotasının hayvan performansı ve sağlık parametreleriyle yakından ilişkili olduğunu ve özellikle yüksek verimli hayvanlarda silaj kalitesinin belirlenmesinde kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Der Bedrosian ve Kung, 2018; Li ve ark., 2024). Mısır silajının rumen fermentasyonu üzerindeki etkileri, silaj kalitesinin hayvan sağlığı ve verimliliği açısından belirleyici bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle yüksek verimli hayvanlarda, silaj fermentasyonunun yetersiz olması rumen mikrobiyotasında dengesizliklere yol açarak performans kayıplarına neden olabilmektedir. Bu nedenle, mısır silajı kullanımında yalnızca besin madde içeriği değil, fermentasyon kalitesi ve mikrobiyal etkileşimler de dikkate alınmalıdır.

Bu bulgular, mısır silajının performans üzerindeki etkilerinin tek başına değil, silaj kalitesi ve rasyon dengelemesi ile birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir.

6. SÜRDÜRÜLEBİLİR HAYVANCILIK AÇISINDAN MISIR SİLAJI

6.1. Yem Maliyeti ve Ekonomik Avantajlar

Mısır silajı, birim alandan elde edilen yüksek kuru madde ve enerji verimi sayesinde ruminant beslemede ekonomik açıdan en avantajlı kaba yem kaynaklarından biri olarak değerlendirilmektedir. Özellikle süt ve besi sığırı işletmelerinde, mısır silajının rasyonun temel kaba yemini oluşturması, konsantre yem kullanımını azaltarak toplam yem maliyetlerinde düşüş sağlamaktadır (Khan ve ark., 2015; Ferraretto ve ark., 2018). Türkiye koşullarında mısır silajı, yonca gibi yüksek proteinli kaba yemlere kıyasla daha düşük üretim maliyeti ve daha yüksek enerji yoğunluğu sunmakta; bu durum işletmelerin ekonomik sürdürülebilirliğini desteklemektedir. Ayrıca silajın uzun süre depolanabilmesi, mevsimsel yem dalgalanmalarının etkisini azaltarak yıl boyu dengeli rasyon formülasyonuna olanak tanımaktadır. Mevcut bulgular, mısır silajının rasyon maliyetini düşürmedeki rolünün yalnızca yem fiyatlarıyla sınırlı olmadığını, aynı zamanda enerji yoğunluğu sayesinde konsantre yem bağımlılığını azaltarak **dolaylı ekonomik kazanımlar** sağladığını göstermektedir. Bu yönüyle mısır silajı, özellikle girdi maliyetlerinin arttığı üretim koşullarında işletmeler için stratejik bir avantaj sunmaktadır.

6.2. Kaynak Kullanım Verimliliği ve Arazi Yönetimi

Mısır silajı üretimi, birim arazi başına sağladığı yüksek biyokütle verimi ile yem üretiminde arazi kullanım etkinliğini artırmaktadır. Bu durum, sınırlı tarım alanlarının daha verimli kullanılmasını sağlayarak kaba yem açığının kapatılmasında stratejik bir rol oynamaktadır (Wilkinson ve Rinne, 2018). Mısır silajının birim alan başına sağladığı yüksek biyokütle verimi, kaba yem üretiminde arazi kullanım etkinliğini artırarak yem açığının kapatılmasına katkı sağlamaktadır. Bu durum, sınırlı tarım alanlarına sahip bölgelerde sürdürülebilir hayvancılık açısından önemli bir yapısal avantaj oluşturmaktadır.

6.3. Çevresel Etkiler ve Karbon Ayak İzi

Ruminant üretim sistemlerinde çevresel sürdürülebilirliğin temel göstergelerinden biri, sera gazı emisyonlarıdır. Mısır silajı bazlı rasyonların, yüksek sindirilebilirlik ve enerji yoğunluğu sayesinde birim ürün (süt veya canlı ağırlık artışı) başına düşen metan emisyonunu azalttığı rapor edilmiştir (Hristov ve ark., 2013). Nişasta içeriği yüksek mısır silajlarının rumende propiyonik asit üretimini teşvik ederek hidrojen kullanımını artırdığı ve bu yolla enterik metan oluşumunu sınırladığı belirtilmektedir. Son yıllarda yapılan modelleme ve yaşam döngüsü analizleri, mısır silajı temelli besleme stratejilerinin karbon ayak izini düşürdüğünü ve çevresel performansı iyileştirdiğini ortaya koymaktadır (FAO, 2024). Literatür bulguları, mısır silajı bazlı rasyonların yalnızca üretim performansını değil, aynı zamanda birim ürün başına çevresel etkiyi de iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Özellikle sindirilebilirliği yüksek silajların kullanımı, verimlilik artışı yoluyla göreceli emisyon yoğunluğunu azaltan bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

6.4. Atık Yönetimi ve Döngüsel Tarım Yaklaşımı

Mısır silajı üretim ve kullanım süreci, döngüsel tarım prensipleri ile uyumlu bir yapı sergilemektedir. Hayvansal üretimden elde edilen gübrenin mısır tarlalarında değerlendirilmesi, besin maddelerinin tarım-hayvancılık sistemi içinde yeniden kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu durum, hem kimyasal gübre kullanımını azaltmakta hem de çevresel yükü sınırlamaktadır (Wilkinson ve Lee, 2018). Mısır silajı üretim sistemi, bitkisel ve hayvansal üretim arasındaki besin madde döngüsünü güçlendirerek döngüsel tarım uygulamalarının sahada hayata geçirilmesine olanak tanımaktadır. Bu entegrasyon, hem çevresel yükün azaltılması hem de girdi bağımlılığının düşürülmesi açısından önemli bir kazanım sağlamaktadır.

6.5. Sürdürülebilir Hayvancılık Politikaları Açısından Değerlendirme

Küresel ve ulusal ölçekte sürdürülebilir hayvancılık politikaları, yem kaynaklarının verimli kullanımı ve çevresel etkilerin azaltılması üzerine odaklanmaktadır. Bu bağlamda mısır silajı, hem ekonomik hem de çevresel avantajları sayesinde sürdürülebilir üretim modellerinin önemli bir bileşeni olarak öne çıkmaktadır. FAO ve benzeri uluslararası kuruluşlar, ruminant beslemede yüksek kaliteli kaba yem kullanımının, üretim verimliliğini artırırken çevresel etkileri azaltabileceğini vurgulamaktadır (Hristov ve ark., 2013; FAO, 2024). Bu çerçevede mısır silajı, sürdürülebilir hayvancılık hedeflerine ulaşmada stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir. Mısır silajı, ekonomik verimlilik ile çevresel sorumluluğu aynı potada buluşturan nadir kaba yem kaynaklarından biri olarak sürdürülebilir hayvancılık politikalarıyla yüksek uyum göstermektedir. Bu nedenle, mısır silajının yaygın ve bilinçli kullanımı, sürdürülebilir üretim hedeflerine ulaşmada uygulanabilir ve gerçekçi bir politika aracı olarak değerlendirilebilir.

7. TARTIŞMA

Son 20 yılda yayımlanan çalışmalar, mısır silajının ruminant beslemede yüksek enerji içeriği ve sindirilebilir lif yapısı sayesinde performans artırıcı bir kaba yem olduğunu ortaya koymaktadır (Oba ve Allen, 2003; Ferraretto ve ark., 2018). Bununla birlikte, mısır silajının hayvan performansı üzerindeki etkileri yalnızca nişasta düzeyine değil, NDF sindirilebilirliği ve fermentasyon kalitesine de bağlıdır. Literatür, uygun hasat zamanı ve etkili fermentasyon koşullarının sağlanamadığı durumlarda mısır silajının besin madde kayıplarına ve yem tüketiminde azalmaya yol açabileceğini göstermektedir (Kung ve ark., 2018). Buna karşılık, yüksek kaliteli silajların süt verimi, canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma oranlarını anlamlı şekilde iyileştirdiği tespit edilmiştir (Weiss ve ark., 2004; Khan ve ark., 2015).

Süt sığırlarında mısır silajı, laktasyon performansını desteklerken; besi sığırı, koyun ve keçilerde rasyon kompozisyonuna bağlı olarak değişken sonuçlar ortaya koymaktadır (ZoBell ve ark., 2002; Yan ve ark., 2025). Bu durum, mısır silajının tek başına değil, dengeli rasyon formülasyonu içinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde, mısır silajı bazlı rasyonların ruminal fermentasyonu propiyonat yönüne kaydırarak enterik metan emisyonunu azaltma potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir (Hristov ve ark., 2013; FAO, 2024). Ancak bu etki, silaj kalitesi ve toplam rasyon yapısı ile yakından ilişkilidir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu derleme, mısır silajının ruminant hayvan beslemede yüksek enerji değeri, iyi sindirilebilir lif yapısı ve ekonomik üretim avantajı sayesinde stratejik bir kaba yem olduğunu ortaya koymaktadır. Uygun hasat zamanı, doğru hibrit seçimi ve kontrollü fermentasyon koşulları sağlandığında, mısır silajı hayvan performansını ve yemden yararlanmayı olumlu yönde etkilemektedir.

Öneriler:

- Mısır silajı üretiminde %30–35 kuru madde düzeyi hedeflenmelidir.
- Yüksek sindirilebilirliğe sahip hibritler ve uygun silaj inokülanları tercih edilmelidir.
- Rasyonlarda mısır silajı, protein ve mineral dengelemesi yapılarak kullanılmalıdır.
- Sürdürülebilirlik açısından, mısır silajı bazlı rasyonların metan emisyonu üzerindeki etkileri uygulamaya yönelik çalışmalarla desteklenmelidir.

Sonuç olarak mısır silajı, doğru yönetildiğinde hem hayvan performansını artıran hem de sürdürülebilir hayvancılık hedeflerine katkı sağlayan temel bir kaba yem kaynağıdır.

9. KAYNAKLAR

Bal, M. A., Shaver, R. D., Jirovec, A. G., Shinnors, K. J ve Coors, J. G. (2000). Crop processing and chop length of corn silage: Effects on intake, digestion, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 83(6), 1264–1273.

Der Bedrosian, M. C ve Kung, L. (2018). The effect of microbial inoculants on silage fermentation and animal performance. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102, 479–489.

FAO–AGRIS (2024–2025). Ruminantlarda metan salınımı, azaltma stratejileri ve ölçüm yöntemleri. FAO veri tabanı raporları.

- Ferraretto LF, Shaver RD, Luck BD. (2018). Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *J Dairy Sci.*;101(5):3937-3951.
- Hristov AN, Oh J, Firkins JL, Dijkstra J, Kebreab E, Waghorn G, Makkar HP, Adesogan AT, Yang W, Lee C, Gerber PJ, Henderson B, Tricarico JM. (2013). Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J Anim Sci* ;91(11):5045-69.
- Keleş, G ve Çıbık, M. (2014). Mısır silajının besin ve besleme değerini etkileyen faktörler. *Hayvansal Üretim*, 55(2), 27–37.
- Khan, N. A., Yu, P., Ali, M., Cone, J. W ve Hendriks, W. H. (2015). Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95, 238–252.
- Kung, L ve Shaver, R. (2001). Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on Forage*, 3(13), 1–5.
- Kung, L., Jr., Shaver, R. D., Grant, R. J ve Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020–4033.
- Li, L., Qu, J., Zhu, H., Liu, Y., Wu, J., Shao, G ve Qu, Y. (2024). Effects of feeding different levels of dietary corn silage on growth performance, rumen fermentation and bacterial community of post-weaning dairy calves. *Animal Bioscience*. Asian Australasian Association of Animal Production Societies. 37(2), 261–273.
- NRC (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th rev. ed.). National Academies Press, Washington, DC.
- Oba, M ve Allen, M. S. (2003). Effects of corn grain conservation method on ruminal digestion kinetics. *Journal of Dairy Science*, 86(1), 184–194.
- Oba, M ve Allen, M. S. (2005). Effects of brown midrib corn silage on productivity of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88(1), 3119–3127.
- Weiss, W. P., Willett, L. B., St-Pierre, N. R., Borger, D. C., McKelvey, T. R ve Wyatt, D. J. (2004). Varying forage particle size and silage type: Effects on intake and milk production. *Journal of Dairy Science*, 87(11), 3553–3562.
- Wilkinson, J. M ve Lee, M. R. F. (2018). Use of human-edible animal feeds by ruminant livestock. *Animal*, 12(8), 1735–1743.

- Wilkinson, J. M ve Rinne, M. (2018). Silage: The future of forage preservation. *Grass and Forage Science*, 73(1), 1–6.
- Yan L, Hua J, Lu W, Zhao H, Chao C, Yan L and Lv X (2025) Effects of silage from different maize varieties on growth traits, meat quality, slaughter performance, apparent digestibility of nutrients, and rumen microbiota in Hu sheep. *Front. Anim. Sci.* 6:1640756
- ZoBell, D. R., Wiedmeier, R. D ve Olson, K. C. (2002). Processed corn silage for growing beef heifers. *Animal Feed Science and Technology*, 96(3–4), 221–228.

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING SIGNAL QUALITY IN REMOTE ECG MONITORING SYSTEMS

Izzet PIRIYEV

Azerbaijan State Oil and Industry University, Faculty of Information Technologies and Control, Department of Instrumentation Engineering, Baku, Azerbaijan¹
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-0420-6564>

Assoc. Prof. Akif KHIDIROV

Azerbaijan State Oil and Industry University, Faculty of Information Technologies and Control, Department of Instrumentation Engineering, Baku, Azerbaijan²
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2539-286X>

ABSTRACT

Cardiovascular diseases remain one of the leading causes of death worldwide, and early diagnosis and continuous monitoring of these pathologies are among the priority directions of modern healthcare systems. In this context, electrocardiography (ECG) is a widely used, informative, and reliable diagnostic method for assessing the electrical activity of the heart. In recent years, the rapid development of information and telecommunication technologies has facilitated the formation and widespread implementation of remote ECG monitoring systems. These systems provide continuous monitoring of patients in their daily living conditions, enhancing opportunities for early diagnosis. However, the effectiveness of remote monitoring directly depends on the quality of the recorded ECG signals.

This paper presents a comprehensive and systematic analysis of the factors affecting signal quality in remote ECG monitoring systems. The analysis identifies these factors as belonging to the main groups: biological, technical, environmental, as well as communication and software-related factors. Biological factors include skin–electrode contact, skin impedance, muscle tremor (EMG noise), respiratory movements, and the influence of body morphology on ECG signal amplitude and morphology. Technical factors are associated with the type of electrodes and sensors used, amplification and filtering stages, analog-to-digital conversion parameters, and energy constraints. Furthermore, the effects of data loss in wireless communication channels and software-related issues on signal quality are assessed.

The analysis demonstrates that the interaction of these factors leads to artifacts in ECG signals and reduces diagnostic accuracy. The paper summarizes technical, algorithmic, and software-based mitigation methods to address these issues. The obtained results are of both scientific and practical significance for optimizing remote ECG monitoring systems and improving their reliability.

Key Words: Remote ECG monitoring, signal quality, technical factors, communication channels, biological factors.

INVESTIGATION OF CELLULOSE-DEGRADING MICROORGANISMS IN THE UPPER REACHES OF THE QUDYALCHAY RIVER

Esmira GASIMZADE

Molecular Biology Institute Public Legal Entity, Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

Microorganisms play a key role in the cycling of organic matter and in maintaining ecological balance in freshwater ecosystems. In particular, cellulose-degrading microorganisms contribute to the mineralization of plant-derived organic matter, participating in the natural self-purification processes of aquatic systems. In the riparian zones of the Qudyalchay River in the Quba region, leaf litter and other plant debris from forested areas provide a source of cellulose that stimulates microbial activity. Therefore, the aim of this study was to determine the distribution and seasonal dynamics of cellulose-degrading microorganisms in the upper reaches of the Qudyalchay River.

Water samples were collected from surface layers using a sterile Sorokin bottle-bathometer. Large plant debris was removed prior to analysis, and samples were inoculated onto selective media to assess the growth of cellulose-degrading microorganisms. Qetchinson medium was used for aerobic conditions, while Omelyanski medium was used for anaerobic conditions. Dilution (1:10) and direct plating methods were applied, with filter paper serving as the carbon source. Samples were incubated at 18–28°C, and bacterial colony formation was monitored.

Observations confirmed the presence of cellulose-degrading microorganisms in the upper reaches of the river. Although microbial growth was relatively slow due to lower temperatures, it exhibited a stable pattern. Leaf litter and plant debris entering from forested areas supported microbial nutrition. Seasonal dynamics showed increased microbial activity during spring and summer when temperatures were higher. Rapid water flow limited the accumulation of organic matter, preventing excessive microbial proliferation.

Consequently, cellulose-degrading bacteria play an important role in regulating carbon cycling and maintaining the natural self-purification mechanisms of riparian ecosystems in the Qudyalchay River.

Keywords: Cellulose-degrading microorganisms, Seasonal dynamics, Qudyalchay River, Riparian ecosystems

THE PROTECTIVE EFFECT OF SYRINGIC ACID AGAINST ACRYLAMIDE TOXICITY

Hakan BAĞ

Fırat University, Faculty of Veterinary, Department of Biochemistry, Elazığ, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1846-3842>

Prof. Dr. Seval YILMAZ

Fırat University, Faculty of Veterinary, Department of Biochemistry, Elazığ, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2040-9247>

ABSTRACT

Acrylamide (Acr) is a toxic compound that can exhibit neurotoxic, genotoxic, and potentially carcinogenic effects in the body following exposure from food and environmental sources. Acr increases the production of reactive oxygen species, leading to oxidative stress and toxic effects. Syringic Acid (SA) has the potential to scavenge free radicals and reduce oxidative damage due to its antidiabetic, anticancer, and antioxidant properties. This study aimed to evaluate the potential effect of SA against Acr-induced toxicity through oxidative stress parameters in blood tissue.

In the study, a total of 48 male Sprague-Dawley rats aged 3 months were randomly selected and divided into 6 groups. The control group; the group administered SA (50 mg/kg/daily for 3 weeks); the group administered Low-dose Acr (10 mg/kg/daily for 6 weeks); the group administered High-dose Acr (50 mg/kg/daily for 3 weeks); and the Low-dose Acr + SA and High-dose Acr + SA groups were formed. SA administration was initiated 3 weeks after Low-dose Acr administration and was administered concurrently for 3 weeks. High-dose Acr + SA administration was initiated concurrently. At the end of the experiment, the rats were sacrificed, and blood samples were collected. Malondialdehyde (MDA) and glutathione (GSH) levels as well as catalase (CAT), glutathione peroxidase (GSH-Px) and superoxide dismutase (SOD) activities were measured spectrophotometrically in the blood samples.

Significant increases in blood MDA levels were observed in both the Low-dose and High-dose Acr groups ($p < 0.0001$). The increase in MDA levels in the High-dose Acr group was statistically greater than that in the Low-dose Acr group ($p < 0.05$). Blood MDA levels were found to differ depending on the Acr dose. It was determined that GSH levels and activities of CAT, GSH-Px, and SOD decreased in the groups administered Low and High doses of Acr ($p < 0.05$). In groups receiving both Low and High doses of Acr along with SA, MDA levels decreased, while GSH levels and CAT, GSH-Px, and SOD activities increased ($p < 0.05$).

The findings suggest that SA has a protective effect against Acr-induced oxidative stress and toxicity. It has been concluded that SA reduces oxidative damage by supporting the antioxidant defense system and may be a potential protective agent against Acr toxicity.

Key Words: Acrylamide, Syringic Acid, Toxicity, Oxidative Stress, Blood

INTRODUCTION

Acrylamide (Acr; $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}_2$) is a low-molecular-weight organic compound that exists in solid form at room temperature, melting at approximately 8 °C and boiling at around 125 °C (Keramat et al., 2011). Acr is a carbonyl derivative with two functional groups: an amide group and a double bond, which are responsible for its high reactivity (Wang et al., 2020). Acr polymer compounds are used in industries such as plastics, textiles, paper, adhesive tape, paint, concrete binders, tertiary petroleum recovery, ore processing, food packaging, and cigarette production, as well as in laboratory applications such as gel chromatography and polyacrylamide gel electrophoresis (Abdel-Daim, 2014; Bin-Jumah et al., 2021; Govindaraju et al., 2024; Pennisi et al., 2013; Xiong et al., 2018). Acr has been recognized as a heat-induced food contaminant that forms through the Maillard reaction, which involves interactions between amino acids and reducing sugars. Primary dietary sources include potato chips, coffee, baked goods, and sweet biscuits, particularly carbohydrate-rich foods processed at temperatures exceeding 120 °C (Acaroz et al., 2018; Ledl & Schleicher, 1990; Rifai & Saleh, 2020). The International Agency for Research on Cancer classified Acr as a Group 2A “possible human carcinogen and genotoxic agent” in 1994 (Smoke & Smoking, 2004). It is known that Acr is absorbed by the gastrointestinal system, distributed to peripheral tissues, and can cross the blood-placenta barrier (Fennell & Friedman, 2005; Sörgel et al., 2003).

The metabolism of Acr occurs via two main pathways. In the primary detoxification pathway, Acr is converted to mercapturic acids via the glutathione S-transferase (GST) enzyme and excreted in the urine. In the second pathway, metabolic activation, Acr is converted by the Cytochrome P450 (CYP450) enzyme into glycidamide (GA), a genotoxic and carcinogenic compound; GA forms metabolites that are excreted in urine and also forms adducts by binding to DNA and hemoglobin. Acr exposure induces oxidative stress by impairing the equilibrium between pro-oxidant processes and antioxidant defense mechanisms. During this process, reactive oxygen species (ROS) and hydroperoxide (H_2O_2) levels increase significantly, while cellular damage markers such as lipid peroxidation and protein carbonylation increase (Elhelaly et al., 2019; Zhang et al., 2023). Acr severely depletes reduced glutathione (GSH) levels, one of the cell's most fundamental defense mechanisms, and causes impairments in the activities of antioxidant enzymes such as catalase (CAT), glutathione peroxidase (GSH-Px), and superoxide dismutase (SOD). The resulting oxidative stress leads to the loss of function of antioxidant enzymes, resulting in various toxic effects, including genotoxicity, neurotoxicity, hepatotoxicity, and nephrotoxicity (Aboubakr et al., 2023; Ma et al., 2025; Yan et al., 2023).

Syringic Acid (SA, $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_5$, Gallic acid 3, 5-dimethyl ether) is a hydroxybenzoic acid subgroup of phenolic acids that occur naturally in various foodstuffs (Karamać et al., 2005; Srinivasulu et al., 2018). It is a phenolic acid in the form of a dirty white powder with a molecular weight of 198.17 g/mol, a melting point of 205-209 °C, and a structure consisting of a single benzene ring bonded to two methoxy groups, one hydroxyl (OH) group, and one carboxyl group. SA is particularly abundant in fruits and vegetables such as olives, grapes, walnuts, dates, thyme, and cauliflower (Bartel et al., 2023; Srinivasulu et al., 2018; Vo et al., 2020). As a natural phenolic acid, SA possesses antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, neuroprotective, hepatoprotective, antidiabetic, and cardioprotective effects. These effects make it a potential therapeutic agent, particularly for the prevention and treatment of diseases associated with oxidative stress (Bartel et al., 2023; Shimsa et al., 2024).

The properties of SA stem from its ability to neutralize ROS due to its phenolic structure and its capacity to regulate enzymatic and molecular pathways in cells. SA has a broad therapeutic

potential, particularly due to its low toxicity profile (Cao et al., 2016; Rashedinia et al., 2021). SA possesses potent antioxidant properties due to its phenolic core containing various functional groups (Ji et al., 2019; Shimsa et al., 2024). SA has a high hydroxyl radical (HO•) scavenging activity due to the hydroxyl group present at its 4th carbon (Vo et al., 2020).

SA facilitates cellular defense against oxidative damage by modulating the Nuclear Factor Erythroid 2-Related Factor 2 (Nrf2) mediated antioxidant response. Significant increases in GSH, SOD, CAT, and GSH-Px, alongside a reduction in MDA levels, have been reported as a result of SA-induced Nrf2 nuclear translocation (Cikman et al., 2015; Haneef & Chadha, 2018; Ji et al., 2019; Li et al., 2019; Liu et al., 2024; Sabahi et al., 2020).

This study aimed to evaluate the protective potential of SA against oxidative stress induced by both low- and high-dose Acr exposure.

MATERIALS AND METHODS

The study included 48 male Sprague–Dawley rats (3 months old). Ethical approval was obtained from the Firat University Local Animal Experiments Ethics Committee (Approval No: 2023/17-07). Animals were supplied by the Firat University Experimental Research Center and maintained under standard laboratory conditions (12 h light/12 h dark cycle; 24 ± 3 °C) in accordance with guidelines for the care and use of laboratory animals. During the experimental procedures, rats were provided with standard commercial rat feed and tap water ad libitum. The rats were randomly divided into 6 groups. Control Group: (n=7) No treatment was administered. SA Group: (n=7) SA was administered at a dose of 50 mg/kg/day via gavage daily for 3 weeks. Low-dose Acr Group: (n=9) Acr was administered daily for 6 weeks at a dose of 10 mg/kg/day via gavage. High-dose Acr Group: (n=8) Acr was administered daily for 3 weeks at a dose of 50 mg/kg/day via gavage. Low-dose Acr + SA Group: (n=9) SA was administered at a dose of 50 mg/kg starting 3 weeks after the initiation of 10 mg/kg Acr administration and was given together with Acr for the last 3 weeks. High-dose Acr + SA Group: (n=8) Acr at a dose of 50 mg/kg/day and SA at a dose of 50 mg/kg/day were administered together daily for 3 weeks via gavage. The doses of Acr and SA used in the experiment were determined according to the literature (Helli et al., 2024; Karimani et al., 2021; Rahbardar et al., 2021; Raju et al., 2015; Sammeturi et al., 2019). SA was administered at a dose of 50 mg/kg/day via gavage for 3 weeks for each animal. Acr was administered at doses of 10 and 50 mg/kg/day via gavage for each animal.

Acr and SA were dissolved in water. In the Low-dose Acr + SA group, SA administration was started 3 weeks after Acr administration and was administered together with Acr for 3 weeks. In the High-dose Acr + SA group, SA was administered orally together with Acr every day for 3 weeks.

Blood samples, obtained post-euthanasia in EDTA-containing tubes, were processed at 3,000 rpm for 10 minutes (+4 °C) to separate the plasma fraction for MDA determination. Whole blood was reserved for GSH and GSH-Px assessment. For the analysis of SOD and CAT, erythrocytes were isolated and washed triple-fold with saline. All collected specimens were kept in deep-freeze storage (−80 °C) until the scheduled biochemical assays.

MDA levels were quantified using a thiobarbituric acid–reactive substances assay adapted from Placer et al. (1966). This method relies on the reaction between MDA, a secondary product of lipid peroxidation, and thiobarbituric acid under acidic conditions, resulting in a pink chromogen measurable spectrophotometrically. GSH concentrations were determined following the method described by Ellman (1961), based on the reaction between sulfhydryl groups and 5,5'-dithiobis-(2-nitrobenzoic acid). The assay was conducted via an enzymatic

recycling system involving NADPH and glutathione reductase. CAT activity was assessed according to the method of Aebi (1984). The assay measures the enzymatic decomposition rate of hydrogen peroxide (H_2O_2), monitored by the decrease in absorbance at 240 nm. Glutathione GSH-Px activity in erythrocyte samples was evaluated using the Beutler (1983) method. This assay is based on the oxidation of GSH to glutathione disulfide (GSSG) in the presence of H_2O_2 , with the subsequent reduction of GSSG catalyzed by glutathione reductase. SOD activity was measured using a method based on the inhibition of nitroblue tetrazolium reduction by superoxide radicals generated through the xanthine–xanthine oxidase system, as described by Sun et al. (1988).

Data normality and variance homogeneity were assessed using the Shapiro–Wilk and Levene tests, respectively. One-way ANOVA followed by Tukey’s post hoc test was applied to parameters with homogeneous variances ($p > 0.05$), whereas Welch ANOVA followed by Dunnett’s T3 post hoc test was used when variance homogeneity was not met ($p < 0.05$). Data are presented as mean $\pm$ SEM, and ($p < 0.05$) was considered statistically significant. Statistical analyses were performed using SPSS (Version 22.0; IBM, Armonk, NY, USA).

RESULTS

Plasma MDA levels, erythrocyte GSH levels, and CAT, GSH-Px, and SOD activities in rat groups administered Low dose and High dose of Acr and treated with SA are shown in Figures 1-5.

Plasma MDA Levels

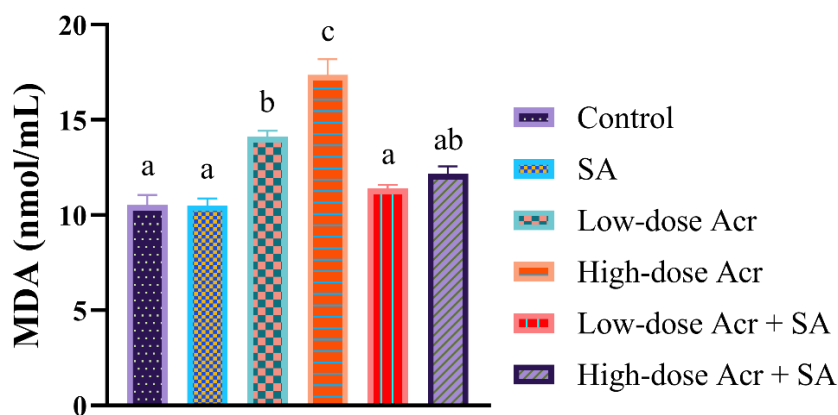


Figure 1. Plasma MDA levels in rats administered Acr and SA. Different letters (a–d) indicate statistically significant differences between groups ($p < 0.05$).

Compared to the control group, plasma MDA levels were found to be statistically significantly higher in the Low-dose Acr (10 mg/kg) and High-dose Acr (50 mg/kg) groups ($p < 0.0001$). MDA levels in the High-dose Acr (50 mg/kg) group were found to be statistically significantly higher than in the Low-dose Acr (10 mg/kg) group ($p < 0.005$). No statistically significant difference was found in the control, SA, Low-dose Acr (10 mg/kg) + SA, and High-dose Acr (50 mg/kg) + SA groups. The plasma MDA levels in the Low-dose Acr (10 mg/kg) + SA and High-dose Acr (50 mg/kg) + SA groups were lower compared to the Low-dose Acr (10 mg/kg) and High-dose Acr (50 mg/kg) groups, plasma MDA levels were found to be Low ($p < 0.0001$), and the means of these groups were observed to approach those of the control group (Figure 1).

Erythrocyte GSH Levels

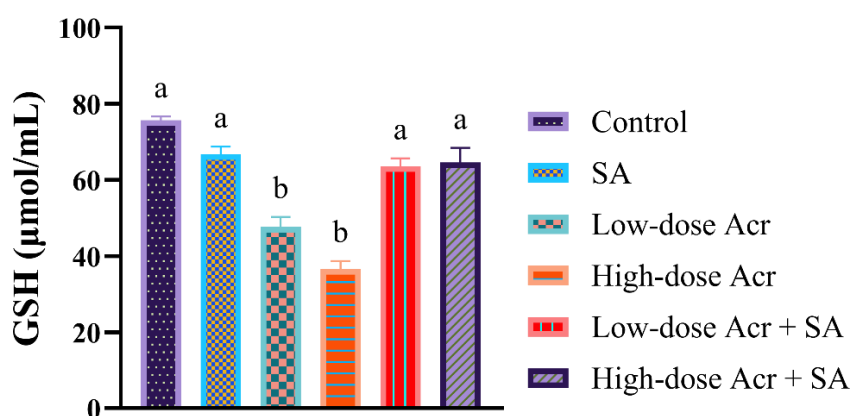


Figure 2. Erythrocyte GSH levels in rats administered Acr and SA. Different letters (a–d) indicate statistically significant differences between groups ($p < 0.05$).

Compared to the control group, erythrocyte GSH levels were found to be statistically significantly lower in the Low-dose Acr (10 mg/kg) and High-dose Acr (50 mg/kg) groups ($p < 0.001$). No statistically significant difference was found between the control, SA, Low-dose Acr (10 mg/kg) + SA, and High-dose Acr (50 mg/kg) + SA groups. The Low-dose Acr (10 mg/kg) + SA and High-dose Acr (50 mg/kg) + SA groups had higher erythrocyte GSH levels compared to the Low-dose Acr (10 mg/kg) and High-dose Acr (50 mg/kg) groups, erythrocyte GSH levels were found to be high ($p < 0.001$), and the means of these groups were observed to approach the control group (Figure 2).

Erythrocyte CAT Activities

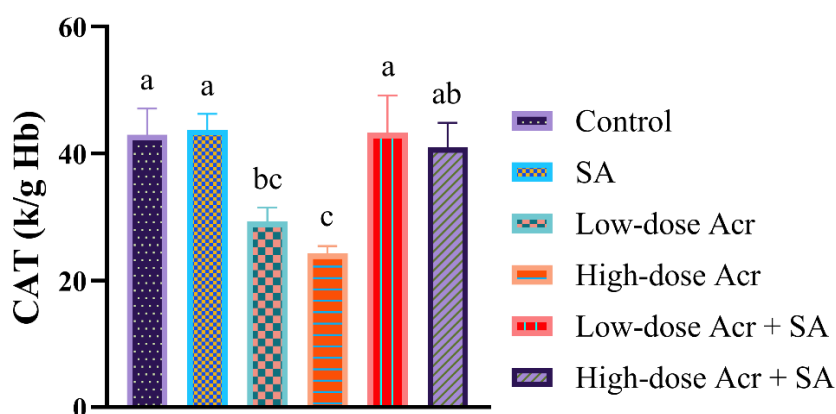


Figure 3. Erythrocyte CAT activities in rats administered Acr and SA. Different letters (a–d) indicate statistically significant differences between groups ($p < 0.05$).

Compared to the control group, erythrocyte CAT activity was found to be statistically significantly lower in the Low-dose Acr (10 mg/kg) and High-dose Acr (50 mg/kg) groups ($p < 0.0001$). No statistically significant difference was found between the control, SA, Low-dose Acr (10 mg/kg) + SA, and High-dose Acr (50 mg/kg) + SA groups. The erythrocyte CAT activity was higher in the Low-dose Acr (10 mg/kg) + SA and High-dose Acr (50 mg/kg) + SA groups compared to the Low-dose Acr (10 mg/kg) and High-dose Acr (50 mg/kg) groups, erythrocyte CAT activity was found to be high ($p < 0.0001$), and the means of these groups were observed to approach the control group (Figure 3).

Erythrocyte GSH-Px Activities

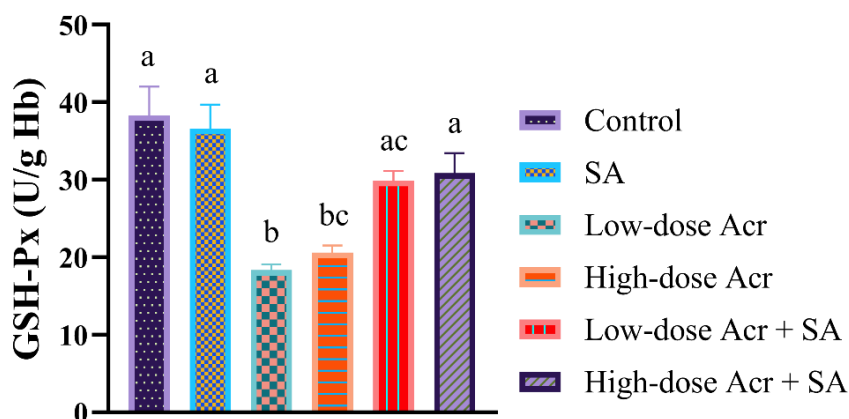


Figure 4. Erythrocyte GSH-Px activities in rats administered Acr and SA. Different letters (a–d) indicate the level of statistical significance between groups ($p < 0.05$).

Compared to the control group, erythrocyte GSH-Px activity was found to be statistically significantly lower in the Low-dose Acr (10 mg/kg) and High-dose Acr (50 mg/kg) groups ($p < 0.0001$). No statistically significant difference was found between the control, SA, Low-dose Acr (10 mg/kg) + SA, and High-dose Acr (50 mg/kg) + SA groups. The Low-dose Acr (10 mg/kg) + SA and High-dose Acr (50 mg/kg) + SA groups showed higher erythrocyte GSH-Px activity compared to the Low-dose Acr (10 mg/kg) and High-dose Acr (50 mg/kg) groups, erythrocyte GSH-Px activity was found to be high ($p < 0.0001$), and the means of these groups were observed to approach the control group (Figure 4).

Erythrocyte SOD Activities

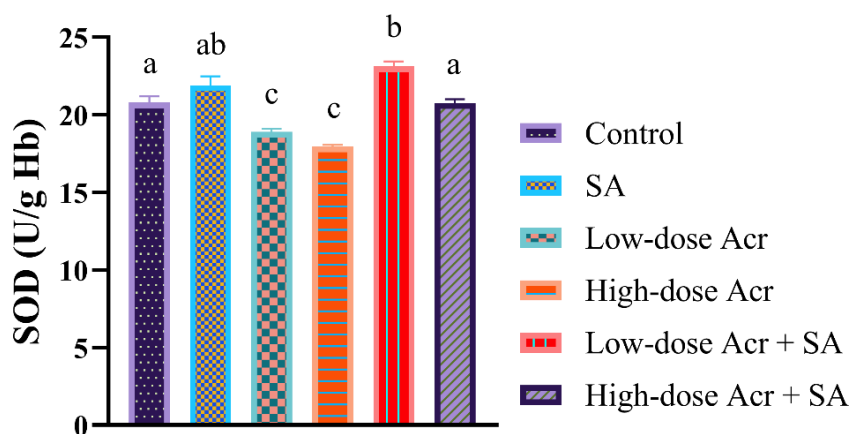


Figure 5. Erythrocyte SOD activities in rats administered Acr and SA. Different letters (a–d) indicate statistically significant differences between groups ($p < 0.05$).

Compared to the control group, erythrocyte SOD activity was found to be statistically significantly lower in the Low-dose Acr (10 mg/kg) and High-dose Acr (50 mg/kg) groups ($p < 0.0001$). No statistically significant difference was found between the control, SA, and High-dose Acr (50 mg/kg) + SA groups. Erythrocyte SOD activity was higher in the Low-dose Acr (10 mg/kg) + SA and High-dose Acr (50 mg/kg) + SA groups compared to the Low-dose Acr (10 mg/kg) and High-dose Acr (50 mg/kg) groups, erythrocyte SOD activity was found to be high ($p < 0.0001$), and the means of these groups were observed to approach the control group (Figure 5).

DISCUSSION

Blood tissue is one of the most sensitive and fastest-responding tissues in the assessment of systemic toxicity (Wm et al., 2016). Water-soluble toxic agents such as Acr, which easily pass into circulation, are first transported to all organs via the bloodstream. Therefore, changes in oxidative stress markers are considered an early indicator of the overall toxic load in the organism (Frijhoff et al., 2015; Rifai & Saleh, 2020). The study investigated whether SA protects against oxidative damage that may occur in the blood tissue of rats administered Low-dose Acr (10 mg/kg) over a long period and High-dose Acr (50 mg/kg) over a short period.

Measurement of blood levels of MDA, a marker of lipid peroxidation, and antioxidant defense parameters such as GSH, CAT, GSH-Px, and SOD enzymes provides important clues about the severity of oxidative damage (Chaouni et al., 2020; Hydzik et al., 2023; Kolawole et al., 2025). Therefore, the evaluation of blood parameters in this study constitutes a critical step in understanding the systemic effects of Acr and the potential protective role of SA. During Acr metabolism, reactive intermediate products formed via the CYP450 enzyme, particularly GA and ROS, attack the polyunsaturated fatty acids (PUFA) in cell membranes, triggering a chain reaction known as lipid peroxidation (Quasmi et al., 2024).

The increase in MDA levels, the end product of this process, is considered direct evidence of the disruption of the balance between the antioxidant defense system and pro-oxidant factors and damage to cell membrane integrity (Rifai & Saleh, 2020; Singh et al., 2014). In the study, it was observed that Low-dose and High-dose Acr applications statistically significantly increased plasma MDA levels. This indicates that Acr causes systemic oxidative stress depending on the dose and duration of application. In a study by Sayed et al. (2022), exposure to 20 mg/kg Acr for 2 weeks was reported to increase MDA levels in rats, and this was associated with the disruption of the oxidant-antioxidant balance as a result of Acr-induced ROS production. Similarly, Hamdy et al. (2012) reported that administering Acr at doses of 5-10-15 mg/kg for 8 weeks to rats increased plasma MDA levels in a dose-dependent manner, creating a general oxidative damage pattern. In another study by Haidari et al. (2020), it was reported that Acr administration at a dose of 35 mg/kg for 2 weeks increased plasma MDA levels and caused oxidative stress by reducing the total antioxidant capacity after Acr metabolism. The increase in MDA observed in the groups administered High and Low doses of Acr confirms that Acr induces lipid peroxidation and causes oxidative stress by disrupting the oxidant-antioxidant balance. Contrary to this situation, the study determined that plasma MDA levels in the groups administered Low-dose Acr + SA and High-dose Acr + SA were similar to those in the control group and did not constitute a statistically significant difference. Li et al. (2019) reported that 25 mg/kg and 50 mg/kg SA administered together with toxic groups significantly reduced MDA levels. In a dinitrosamine-induced toxicity model by Adeyi et al. (2023), it was reported that 4 weeks of SA treatment at a dose of 50 mg/kg significantly reduced MDA levels. SA is known to possess potent antioxidant, radical scavenging, and anti-inflammatory properties, and these effects are attributed to its phenolic structure (Mashayekhi-Sardoo et al., 2025). Due to the -OH groups in its structure, it can directly neutralize ROS, thereby stopping the first steps of the lipid peroxidation chain and preventing oxidative damage to PUFA, ultimately suppressing MDA formation (Srinivasulu et al., 2018). The findings obtained in the study are consistent with the mechanisms reported in the literature and confirm that SA normalizes the plasma MDA increase caused by Acr.

Erythrocyte GSH levels were also examined in the study to evaluate antioxidant capacity. Sayed et al. (2022) reported a decrease in erythrocyte GSH levels following 2 weeks of Acr administration at a dose of 20 mg/kg. A study by Obia et al. (2025) reported a decrease in erythrocyte GSH levels following 2 weeks of Acr administration at a dose of 30 mg/kg. Additionally, another study by El-Shehawi et al. (2022) reported a decrease in erythrocyte GSH levels after 3 weeks of Acr administration at a dose of 20 mg/kg. Quan et al. (2022) reported a decrease in erythrocyte GSH levels after 6 weeks of Acr administration at a dose of 1 mg/kg. The fundamental mechanism of GSH depletion following Acr application is the high electrophilic reactivity of this compound, which stems from its chemical structure. Acr is classified as a soft electrophile due to its α,β -unsaturated carbonyl structure, and it rapidly forms covalent bonds with soft nucleophiles such as Acr-DNA through the Michael addition reaction. It exhibits low reactivity toward “hard” nucleophiles such as glutathione (GSH), whose thiol group ($-SH$) of glutathione, which is abundant in the cell, through a Michael addition reaction. Acr exhibits low reactivity toward “hard” nucleophiles such as DNA but reacts very rapidly with soft nucleophiles such as GSH to form GSH conjugates, leading to rapid depletion of the GSH pool and disruption of cellular redox balance (Huchthausen et al., 2023; Park et al., 2002). In the study, the decrease in erythrocyte GSH levels observed in Low-dose and High-dose Acr groups supports cellular GSH depletion following Acr administration. Following Acr application, the direct consumption of GSH via covalent binding leads to a weakening of the antioxidant defense, ROS accumulation, and a consequent increase in oxidative damage. This mechanism is considered one of the most important biochemical processes underlying both the hepatotoxic and neurotoxic effects of Acr. In their study, Kumar et al. (2012) reported that erythrocyte GSH levels increased following the administration of three different doses of SA (25, 50, and 100 mg/kg). In a histamine-induced toxicity model conducted by Zhang et al. (2025), erythrocyte GSH levels were reported to increase after 2 weeks of SA administration at a dose of 300 mg/kg. The decrease in erythrocyte GSH levels following Acr administration was reversed by SA treatment, which replenished GSH stores and exhibited antioxidant effects, consistent with the literature.

CAT, one of the most important enzymatic defense elements of the antioxidant defense system, protects the cell from oxidative damage by playing a fundamental role in converting H_2O_2 into water and oxygen (Anwar et al., 2024). While changes in GSH levels reflect the general direction of oxidative balance, changes in CAT activity are of particular importance as they demonstrate the fastest and most direct response to an increase in oxidant load, especially in H_2O_2 levels. Therefore, evaluating how CAT activity is affected after Acr exposure in this study is a critical parameter for revealing the pressure of oxidative stress on the enzymatic defense step. A study by Sayed et al. (2022) reported a decrease in erythrocyte CAT activity after 2 weeks of Acr administration at a dose of 20 mg/kg. Another study reported a decrease in erythrocyte CAT activity after 3 weeks of Acr administration at a dose of 20 mg/kg (El-Shehawi et al., 2022). Quan et al. (2022) reported a decrease in erythrocyte CAT activity in an 8-week Acr study at a dose of 1 mg/kg. In the evaluated studies, the decrease in erythrocyte CAT enzyme activity caused by Acr administration was attributed to the severe oxidative stress induced by Acr in cells and the weakening of antioxidant defense systems (El-Shehawi et al., 2022; Quan et al., 2022; Sayed et al., 2022). The findings obtained in the study showed that erythrocyte CAT activity decreased significantly in groups administered Low-dose Acr and High-dose Acr, and these findings are consistent with studies in the literature. This decrease in CAT activity is an important indicator that Acr causes oxidative damage at the cellular level. Increased ROS (especially H_2O_2) with Acr exposure exceeds the capacity of the

antioxidant defense system and is thought to lead to the depletion or inactivation of CAT, one of the enzymatic defense components. The study observed that SA increased erythrocyte CAT activity. In a hypertension study conducted by Kumar et al. (2012), treatment with SA at doses of 25-50-100 mg/kg for 4 weeks resulted in an increase in erythrocyte CAT activity. This increase was attributed to SA's ability to suppress oxidative stress due to its potent antioxidant and free radical scavenging properties. The study is consistent with the literature data.

In cells, GSH-Px is one of the most critical components of the primary enzymatic antioxidant defense line, which plays a fundamental role in ROS detoxification and maintaining cellular redox balance. GSH-Px, in particular, uses reduced GSH as a co-substrate to reduce H_2O_2 and lipid hydroperoxides to water and related alcohols, rendering them inactive (Pei et al., 2023). The literature reports that low GSH-Px activities observed in various disease pathologies and toxicity models are directly associated with increased cancer risk, cardiovascular disorders, and neurodegenerative processes (Kalinina, 2024; Sarıkaya & Doğan, 2020). Therefore, evaluating how GSH-Px activity is affected following Acr exposure constitutes a critical parameter for revealing the pressure on the enzymatic defense step of oxidative stress. The study found a statistically significant decrease in blood GSH-Px activity in groups administered Low and High doses of Acr. In a study by Fang et al. (2022), a decrease in blood GSH-Px activity was reported following 12 days of Acr administration at a dose of 35 mg/kg in an Acr-induced neurotoxicity model. Another study reported a decrease in blood GSH-Px activity after 4 weeks of Acr administration at a dose of 50 mg/kg in an Acr-induced hepatotoxicity model (Gawesh et al., 2021). In a toxicity study conducted by Teodor et al. (2011) using Acr, it was reported that 10 days of Acr administration at a dose of 50 mg/kg caused a decrease in blood GSH-Px activity. This decrease in blood GSH-Px activity is thought to be due to Acr causing ROS accumulation in tissues, disrupting the redox balance, rapidly depleting GSH, which is a cofactor or substrate of enzymes, as a result of conjugation with Acr, and inhibiting enzyme activity by increasing lipid peroxidation, which exceeds the antioxidant enzyme capacity. In a hypertension study conducted by Kumar et al. (2012), a significant increase in erythrocyte GSH-Px activity was reported after 4 weeks of SA administration at doses of 25-50-100 mg/kg. In another study, SA, used as an antioxidant in a subarachnoid hemorrhage model, was administered at doses of 50 and 250 mg/kg for 10 days, and an increase in erythrocyte GSH-Px activity was reported (Kiyak et al., 2025). The study found that SA increased Acr-induced low blood GSH-Px activity. Based on a literature review, it is thought that SA exhibits a protective effect against tissue damage by increasing GSH-Px activity under Acr-induced oxidative stress conditions, thanks to its structural properties that enable it to directly scavenge ROS and its ability to support endogenous antioxidant defense systems.

SOD is the primary antioxidant defense enzyme that converts superoxide anion, one of the first ROS formed during oxidative stress, into H_2O_2 and molecular oxygen. SOD activity represents the cell's first line of defense against oxidative damage (Islam et al., 2022). Therefore, evaluating SOD levels is important for revealing the degree of oxidative stress exposure and the capacity of the administered antioxidant to suppress superoxide-induced damage. In the study, a decrease in erythrocyte SOD activity was determined in the Low-dose Acr and High-dose Acr groups. Studies have reported a decrease in erythrocyte SOD activity after 2 and 3 weeks of Acr administration at a dose of 20 mg/kg (El-Shehawi et al., 2022; Ghorbel et al., 2015; Sayed et al., 2022). A study by Fang et al. (2022) reported a decrease in erythrocyte SOD activity after 12 days of Acr administration at a dose of 35 mg/kg. This

decrease following Acr administration is thought to be due to the rapid consumption and functional inhibition of SOD along with excessive superoxide radical production, and that the ROS formed during Acr metabolism excessively increases the superoxide anion, which is the substrate of SOD, leading to the enzyme's capacity being exceeded and the antioxidant defense system becoming insufficient. A study by Zhang et al. (2025) reported an increase in erythrocyte SOD activity after 3 weeks of SA administration at a dose of 300 mg/kg. Another study reported an increase in erythrocyte SOD activity following 4 weeks of SA administration at doses of 25, 50, and 100 mg/kg (Kumar et al., 2012). The increase in erythrocyte SOD activity with SA administration has been attributed to the stimulation of antioxidant pathways by SA (Ogut et al., 2022).

Elevated MDA levels and decreased antioxidant enzyme activities upon Acr exposure have been considered as indicators of systemic oxidative stress. In contrast, SA administration was observed to significantly reverse this adverse Acr-induced profile, suppress lipid peroxidation, and preserve endogenous antioxidant reserves. This protective effect of SA is attributed to its phenolic structure, which enables direct ROS scavenging and supports the cell's antioxidant enzyme capacity. The findings suggest that SA may be a potential natural therapeutic agent or dietary supplement against Acr toxicity. Future molecular studies are expected to shed more light on the protective mechanisms of SA.

This study was derived from the blood tissue data of Hakan BAĞ's doctoral thesis.

REFERENCES

- Abdel-Daim, M. M. (2014). Pharmacodynamic interaction of *Spirulina platensis* with erythromycin in Egyptian Baladi bucks (*Capra hircus*). *Small Ruminant Research*, 120(2-3), 234-241.
- Aboubakr, M., Elmahdy, A., Taima, S., Emam, M., Farag, A., Alkafafy, M., Said, A., & Soliman, A. (2023). Protective Effects of N Acetylcysteine and Vitamin E against Acrylamide-induced Neurotoxicity in Rats. *The Pakistan Veterinary Journal*. <https://doi.org/10.29261/pakvetj/2023.027>
- Acaroz, U., Ince, S., Arslan-Acaroz, D., Gurler, Z., Kucukkurt, I., Demirel, H. H., Arslan, H. O., Varol, N., & Zhu, K. (2018). The ameliorative effects of boron against acrylamide-induced oxidative stress, inflammatory response, and metabolic changes in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 118, 745-752.
- Adeyi, O., Somade, O., Ajayi, B., James, A., Adeyi, A., Olayemi, Z., & Tella, N. (2023). Syringic acid demonstrates better anti-apoptotic, anti-inflammatory and antioxidative effects than ascorbic acid via maintenance of the endogenous antioxidants and downregulation of pro-inflammatory and apoptotic markers in DMN-induced hepatotoxicity in rats. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2023.101428>
- Aebi, H. (1984). [13] Catalase in vitro. In *Methods in enzymology* (Vol. 105, pp. 121-126). Elsevier.
- Anwar, S., Alrumaihi, F., Sarwar, T., Babiker, A., Khan, A., Prabhu, S., & Rahmani, A. (2024). Exploring Therapeutic Potential of Catalase: Strategies in Disease Prevention and Management. *Biomolecules*, 14. <https://doi.org/10.3390/biom14060697>

- Bartel, I., Mandryk, I., Horbańczuk, J. O., Wierzbicka, A., & Koszarska, M. (2023). Nutraceutical Properties of Syringic Acid in Civilization Diseases-Review. *Nutrients*, 16(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu16010010>
- Beutler, E. (1983). Active transport of glutathione disulfide from erythrocytes. *Functions of glutathione, biochemical, physiological, toxicological and clinical aspects*, 65.
- Bin-Jumah, M., Abdel-Fattah, A., Saied, E., El-Seedi, H., & Abdel-Daim, M. (2021). Acrylamide-induced peripheral neuropathy: manifestations, mechanisms, and potential treatment modalities. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 13031-13046. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12287-6>
- Cao, Y., Zhang, L., Sun, S., Yi, Z., Jiang, X., & Jia, D. (2016). Neuroprotective effects of syringic acid against OGD/R-induced injury in cultured hippocampal neuronal cells. *Int J Mol Med*, 38(2), 567-573. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2016.2623>
- Chaouni, S., Lecomte, D., Stefan, D., Leduc, A., Barraux, V., Leconte, A., Grellard, J., Habrand, J., Guillamin, M., Sichel, F., & Laurent, C. (2020). The Possibility of Using Genotoxicity, Oxidative Stress and Inflammation Blood Biomarkers to Predict the Occurrence of Late Cutaneous Side Effects after Radiotherapy. *Antioxidants*, 9. <https://doi.org/10.3390/antiox9030220>
- Cikman, O., Soylemez, O., Ozkan, O. F., Kiraz, H. A., Sayar, I., Ademoglu, S., Taysi, S., & Karaayvaz, M. (2015). Antioxidant Activity of Syringic Acid Prevents Oxidative Stress in l-arginine-Induced Acute Pancreatitis: An Experimental Study on Rats. *Int Surg*, 100(5), 891-896. <https://doi.org/10.9738/intsurg-d-14-00170.1>
- El-Shehawi, A., Sayed, S., Hassan, M. M., Al-Otaibi, S., Althobaiti, F., Elseehy, M., & Soliman, M. (2022). Taify Pomegranate Juice (TPJ) Abrogates Acrylamide-Induced Oxidative Stress Through the Regulation of Antioxidant Activity, Inflammation, and Apoptosis-Associated Genes. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.833605>
- Elhelaly, A. E., AlBasher, G., Alfarraj, S., Almeer, R., Bahbah, E. I., Fouda, M. M., Bungău, S. G., Aleya, L., & Abdel-Daim, M. M. (2019). Protective effects of hesperidin and diosmin against acrylamide-induced liver, kidney, and brain oxidative damage in rats. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(34), 35151-35162.
- Ellman, G. L., Courtney, K. D., Andres Jr, V., & Featherstone, R. M. (1961). A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochemical pharmacology*, 7(2), 88-95.
- Fang, Z., Luo, Y., Ma, C., Dong, L., & Chen, F. (2022). Blueberry Anthocyanins Extract Attenuates Acrylamide-Induced Oxidative Stress and Neuroinflammation in Rats. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022(1), 7340881.
- Fennell, T. R., & Friedman, M. A. (2005). Comparison of acrylamide metabolism in humans and rodents. *Chemistry and Safety of Acrylamide in food*,
- Frijhoff, J., Winyard, P., Žarković, N., Davies, S., Stocker, R., Cheng, D., Knight, A., Taylor, E., Oettrich, J., Ruskovska, T., Gasparovic, A., Cuadrado, A., Weber, D., Poulsen, H., Grune, T., Schmidt, H., & Ghezzi, P. (2015). Clinical Relevance of Biomarkers of Oxidative Stress. *Antioxidants & redox signaling*, 23, 1144-1170. <https://doi.org/10.1089/ars.2015.6317>

- Gawesh, E.-s., Hamdey, E.-s., Abdelreheem Elshoura, A. I., & Abbas, M. A. (2021). Protective Effect of Cinnamon and Ginger on Acrylamide Induced Hepatotoxicity in Adult Male Albino Rats. *International Journal of Medical Arts*, 3(1), 1136-1144.
- Ghorbel, I., Maktouf, S., Kallel, C., Ellouze Chaabouni, S., Boudawara, T., & Zeghal, N. (2015). Disruption of erythrocyte antioxidant defense system, hematological parameters, induction of pro-inflammatory cytokines and DNA damage in liver of co-exposed rats to aluminium and acrylamide. *Chemico-biological interactions*, 236, 31-40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cbi.2015.04.020>
- Govindaraju, I., Sana, M., Chakraborty, I., Rahman, M. H., Biswas, R., & Mazumder, N. (2024). Dietary Acrylamide: A Detailed Review on Formation, Detection, Mitigation, and Its Health Impacts. *Foods*, 13. <https://doi.org/10.3390/foods13040556>
- Haidari, F., Mohammadshahi, M., Abiri, B., Zarei, M., & Fathi, M. (2020). Cinnamon extract supplementation improves inflammation and oxidative stress induced by acrylamide: An experimental animal study. *Avicenna J Phytomed*, 10(3), 243-252.
- Hamdy, S., Bakeer, H., Eskander, E., & Sayed, O. (2012). Effect of acrylamide on some hormones and endocrine tissues in male rats. *Human & Experimental Toxicology*, 31(5), 483-491.
- Haneef, J., & Chadha, R. (2018). Antioxidant-Based Eutectics of Irbesartan: Viable Multicomponent Forms for the Management of Hypertension. *AAPS PharmSciTech*, 19(3), 1191-1204. <https://doi.org/10.1208/s12249-017-0930-y>
- Helli, B., Navabi, S. P., Hosseini, S. A., Sabahi, A., Khorsandi, L., Amirrajab, N., Mahdavinia, M., Rahmani, S., & Dehghani, M. A. (2024). The Protective Effects of Syringic Acid on Bisphenol A-Induced Neurotoxicity Possibly Through AMPK/PGC-1 α /Fndc5 and CREB/BDNF Signaling Pathways. *Molecular Neurobiology*, 61(10), 7767-7784. <https://doi.org/10.1007/s12035-024-04048-0>
- Huchthausen, J., Escher, B. I., Grasse, N., König, M., Beil, S., & Henneberger, L. (2023). Reactivity of acrylamides causes cytotoxicity and activates oxidative stress response. *Chemical research in toxicology*, 36(8), 1374-1385.
- Hydzik, P., Francik, R., Francik, S., Gomółka, E., Eker, E. D., Krośniak, M., Noga, M., & Jurowski, K. (2023). The Critical Assessment of Oxidative Stress Parameters as Potential Biomarkers of Carbon Monoxide Poisoning. *International journal of molecular sciences*, 24. <https://doi.org/10.3390/ijms241310784>
- Islam, M. N., Rauf, A., Fahad, F. I., Emran, T. B., Mitra, S., Olatunde, A., Shariati, M. A., Rebezov, M., Rengasamy, K. R. R., & Mubarak, M. S. (2022). Superoxide dismutase: an updated review on its health benefits and industrial applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(26), 7282-7300. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1913400>
- Ji, J., Yang, X., Flavel, M., Shields, Z. P. I., & Kitchen, B. (2019). Antioxidant and Anti-Diabetic Functions of a Polyphenol-Rich Sugarcane Extract. *Journal of the American College of Nutrition*, 38(8), 670-680. <https://doi.org/10.1080/07315724.2019.1587323>
- Kalinina, E. (2024). Glutathione-Dependent Pathways in Cancer Cells. *International journal of molecular sciences*, 25. <https://doi.org/10.3390/ijms25158423>
- Karamać, M., Kosińska, A., & Pegg, R. B. (2005). Comparison of radical-scavenging activities for selected phenolic acids.

- Karimani, A., Hosseinzadeh, H., Mehri, S., Jafarian, A. H., Kamali, S. A., Hooshang Mohammadpour, A., & Karimi, G. (2021). Histopathological and biochemical alterations in non-diabetic and diabetic rats following acrylamide treatment. *Toxin reviews*, 40(3), 277-284.
- Keramat, J., Lebail, A., Prost, C., & Jafari, M. (2011). Acrylamide in Baking Products: A Review Article. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 530-543. <https://doi.org/10.1007/S11947-010-0495-1>
- Kiyak, V., Demir, O., Gevrek, F., Demir, O., & Katar, M. (2025). Syringic Acid Reduces Subarachnoid Hemorrhage? Induced Oxidative Damage in Rats. *Turk Neurosurg*, 35(4), 570-576. <https://doi.org/10.5137/1019-5149.Jtn.48257-24.3>
- Kolawole, T., Palacios, J., Husaini, D., & Nwokocha, C. (2025). Inflammation and Oxidative Stress Biomarkers in Heavy Metal Toxicity: Bridging the Gap to Personalized Clinical Interventions. *Journal of applied toxicology : JAT*. <https://doi.org/10.1002/jat.4874>
- Kumar, S., Prahalathan, P., & Raja, B. (2012). Syringic acid ameliorates L-NAME-induced hypertension by reducing oxidative stress. *Naunyn-Schmiedeberg's archives of pharmacology*, 385(12), 1175-1184.
- Ledl, F., & Schleicher, E. (1990). New aspects of the Maillard reaction in foods and in the human body. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 29(6), 565-594.
- Li, Y., Zhang, L., Wang, X., Wu, W., & Qin, R. (2019). Effect of Syringic acid on antioxidant biomarkers and associated inflammatory markers in mice model of asthma. *Drug Dev Res*, 80(2), 253-261. <https://doi.org/10.1002/ddr.21487>
- Liu, C., Cheng, T., Wang, Y., Li, G., Wang, Y., Tian, W., Feng, L., Zhang, S., Xu, Y., Gao, Y., Li, J., Liu, J., Cui, J., Yan, J., Cao, L., Pan, Z., Qi, Z., & Yang, L. (2024). Syringaresinol Alleviates Early Diabetic Retinopathy by Downregulating HIF-1 α /VEGF via Activating Nrf2 Antioxidant Pathway. *Molecular Nutrition & Food Research*, 68(4), 2200771. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mnfr.202200771>
- Ma, Z., Ma, L., & Zhang, Y. (2025). Acrylamide Neurotoxicity Studies in *Caenorhabditis elegans* Model. *Antioxidants*, 14(6), 641.
- Mashayekhi-Sardoo, H., Sadeghzadeh, F., Rameshrad, M., & Hosseinzadeh, H. (2025). Syringic acid, a promising natural compound for the prevention and management of metabolic syndrome: A systematic review. *Iran J Basic Med Sci*, 28(11), 1456-1476. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2025.85940.18568>
- Obia, O., Agorom, E., Reuben, E., & Innocent, A. (2025). Effects of Black Pepper on Oxidative Stress Markers in Acrylamide- Induced Toxicity in Male Wistar Rats. *Cross Current International Journal of Medical and Biosciences*, 7, 28-31.
- Ogut, E., Armagan, K., & Gül, Z. (2022). The role of syringic acid as a neuroprotective agent for neurodegenerative disorders and future expectations. *Metabolic Brain Disease*, 37(4), 859-880.
- Park, J., Kamendulis, L. M., Friedman, M. A., & Klaunig, J. E. (2002). Acrylamide-Induced Cellular Transformation. *Toxicological Sciences*, 65(2), 177-183. <https://doi.org/10.1093/toxsci/65.2.177>
- Pei, J., Pan, X., Wei, G., & Hua, Y. (2023). Research progress of glutathione peroxidase family (GPX) in redoxiation. *Frontiers in Pharmacology*, 14, 1147414.

- Pennisi, M., Malaguarnera, G., Puglisi, V., Vinciguerra, L., Vacante, M., & Malaguarnera, M. (2013). Neurotoxicity of acrylamide in exposed workers. *International journal of environmental research and public health*, 10(9), 3843-3854.
- Placer, Z. A., Cushman, L. L., & Johnson, B. C. (1966). Estimation of product of lipid peroxidation (malonyl dialdehyde) in biochemical systems. *Analytical biochemistry*, 16(2), 359-364.
- Quan, W., Li, M., Jiao, Y., Zeng, M., He, Z., Shen, Q., & Chen, J. (2022). Effect of dietary exposure to acrylamide on diabetes-associated cognitive dysfunction from the perspectives of oxidative damage, neuroinflammation, and metabolic disorders. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(14), 4445-4456.
- Quasmi, M. N., Kumar, D., & Jangra, A. (2024). Effects of dietary acrylamide on kidney and liver health: Molecular mechanisms and pharmacological implications. *Toxicology Reports*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101859>
- Rahbardar, G., Farmad, H. C., Hosseinzadeh, H., & Mehri, S. (2021). Protective effects of selenium on acrylamide-induced neurotoxicity and hepatotoxicity in rats. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 24, 1041-1049. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2021.55009.12331>
- Raju, J., Roberts, J., Taylor, M., Patry, D., Chomyshyn, E., Caldwell, D., Cooke, G., & Mehta, R. (2015). Toxicological effects of short-term dietary acrylamide exposure in male F344 rats. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 39(1), 85-92.
- Rashedinia, M., Khoshnoud, M. J., Fahlyan, B. K., Hashemi, S. S., Alimohammadi, M., & Sabahi, Z. (2021). Syringic Acid: A Potential Natural Compound for the Management of Renal Oxidative Stress and Mitochondrial Biogenesis in Diabetic Rats. *Curr Drug Discov Technol*, 18(3), 405-413. <https://doi.org/10.2174/1570163817666200211101228>
- Rifai, L., & Saleh, F. A. (2020). A review on acrylamide in food: Occurrence, toxicity, and mitigation strategies. *International journal of toxicology*, 39(2), 93-102.
- Sabahi, Z., Khoshnoud, M. J., Khalvati, B., Hashemi, S.-S., Ghasempour Farsani, Z., Mogholi Gerashi, H., & Rashedinia, M. (2020). Syringic acid improves oxidative stress and mitochondrial biogenesis in the liver of streptozotocin-induced diabetic rats. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 10(3). https://journals.lww.com/aptb/fulltext/2020/10030/syringic_acid_improves_oxidative_stress_and.3.aspx
- Sammeturi, M., Shaik, A., Bongu, S. B. R., Cheemanapalli, S., Mohammad, A., & Kodidhela, L. D. (2019). Protective effects of syringic acid, resveratrol and their combination against isoprenaline administered cardiotoxicity in wistar rats. *Saudi journal of biological sciences*, 26, 1429-1435. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.09.027>
- Sarıkaya, E., & Doğan, S. (2020). Glutathione Peroxidase in Health. *Glutathione system and oxidative stress in health and disease*, 49.
- Sayed, S., Alotaibi, S. S., El-Shehawi, A. M., Hassan, M. M., Shukry, M., Alkafafy, M., & Soliman, M. M. (2022). The anti-inflammatory, anti-apoptotic, and antioxidant effects of a pomegranate-peel extract against acrylamide-induced hepatotoxicity in rats. *Life*, 12(2), 224.
- Shimsa, S., Mondal, S., & Mini, S. (2024). Syringic acid: A promising phenolic phytochemical with extensive therapeutic applications. *R&D of Functional Food Products*, 1(5), 1-14.

- Singh, Z., Karthigesu, I., Singh, P., & Kaur, R. (2014). Use of Malondialdehyde as a Biomarker for Assessing Oxidative Stress in Different Disease Pathologies: a Review. *Iranian Journal of Public Health*, 43, 7-16. <https://consensus.app/papers/use-of-malondialdehyde-as-a-biomarker-for-assessing-singh-karthigesu/547055373a46573ba25402410f56dd83/>
- Smoke, T., & Smoking, I. (2004). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. *IARC, Lyon*, 1, 1-1452.
- Sörgel, F., Weissenbacher, R., Kinzig-Schippers, M., Hofmann, A., Illauer, M., Skott, A., & Landersdorfer, C. (2003). Acrylamide: increased concentrations in homemade food and first evidence of its variable absorption from food, variable metabolism and placental and breast milk transfer in humans. *Chemotherapy*, 48(6), 267-274.
- Srinivasulu, C., Ramgopal, M., Ramanjaneyulu, G., Anuradha, C. M., & Suresh Kumar, C. (2018). Syringic acid (SA) – A Review of Its Occurrence, Biosynthesis, Pharmacological and Industrial Importance. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 108, 547-557. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.09.069>
- Sun, Y., Oberley, L. W., & Li, Y. (1988). A simple method for clinical assay of superoxide dismutase. *Clinical chemistry*, 34(3), 497-500.
- Teodor, V., Cuciureanu, M., Filip, C., Zamosteanu, N., & Cuciureanu, R. (2011). Protective effects of selenium on acrylamide toxicity in the liver of the rat. Effects on the oxidative stress. *The Medical-Surgical Journal*, 115(2), 612-618.
- Vo, Q. V., Bay, M. V., Nam, P. C., Quang, D. T., Flavel, M., Hoa, N. T., & Mechler, A. (2020). Theoretical and experimental studies of the antioxidant and antinitrosant activity of syringic acid. *The Journal of Organic Chemistry*, 85(23), 15514-15520.
- Wang, B., Qiu, W., Yang, S., Cao, L., Zhu, C., Ma, J., Li, W., Zhang, Z., Xu, T., & Wang, X. (2020). Acrylamide exposure and oxidative DNA damage, lipid peroxidation, and fasting plasma glucose alteration: association and mediation analyses in Chinese urban adults. *Diabetes Care*, 43(7), 1479-1486.
- Wm, A., Dw, N., Musila, M., Ngugi, M., & Enm, N. (2016). Hematological Markers of In Vivo Toxicity. *Journal of Hematology and Thromboembolic Diseases*, 4, 1-7. <https://doi.org/10.4172/2329-8790.1000236>
- Xiong, B., Loss, R. D., Shields, D., Pawlik, T., Hochreiter, R., Zydney, A. L., & Kumar, M. (2018). Polyacrylamide degradation and its implications in environmental systems. *NPJ Clean Water*, 1(1), 17.
- Yan, F., Wang, L., Zhao, L., Wang, C., Lu, Q., & Liu, R. (2023). Acrylamide in food: Occurrence, metabolism, molecular toxicity mechanism and detoxification by phytochemicals. *Food and Chemical Toxicology*, 175, 113696.
- Zhang, L., Yang, L., Luo, Y., Dong, L., & Chen, F. (2023). Acrylamide-Induced Hepatotoxicity Through Oxidative Stress: Mechanisms and Interventions. *Antioxid Redox Signal*, 38(16-18), 1122-1137. <https://doi.org/10.1089/ars.2022.0055>
- Zhang, M., Tang, J., Wang, J., Qi, C., Chen, G., Chen, W., & Wang, C. (2025). Grafting of syringic acid onto fucoidan: Enhanced functional properties and therapeutic potential in histamine-induced liver injury. *Food Research International*, 208, 116161.

FACTORS IN THE FORMATION OF MANAGEMENT SYSTEMS FOR OIL AND GAS ENTERPRISES IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

Assoc. Prof. NOVRUZOV ATIF AKBAR

Azerbaijan State Oil and Industry University Department of Management

ORCID: 0009-0000-5308-7339

Assoc. Prof. MAMEDOVA SEVDA BINYAT

Odla Yurdu University Department of Economics and Economic Relations

ORCID: 0009-0000-6474-7291

TURAL AKBARZADE ATIF

Tashkent State Technical University

ABSTRACT

This article examines key factors and aspects that directly influence the development of management systems for oil and gas companies in the context of digitalization and the use of artificial intelligence. Currently, in the era of digitalization, when large oil and gas companies are managed based on financial results, issues of improving management systems are becoming increasingly pressing. Moreover, the largest Russian oil and gas companies adhere to the principle of social responsibility, which further obliges company management to monitor all organizational changes.

The oil and gas industry is a key sector of the global economy, ensuring energy security and sustainable development for many countries. However, in the context of global digitalization and the transition to Industry 4.0, companies in the industry are faced with the need to transform their management systems. Digitalization opens up new opportunities for process optimization, increased transparency, and cost reduction, but simultaneously requires consideration of numerous factors influencing the development of an effective management system. Technological Factors: Digitalization of the oil and gas industry involves the implementation of advanced technologies such as the Internet of Things (IoT), big data, artificial intelligence (AI), and blockchain. These technologies enable the automation of data collection and analysis processes, the prediction of accidents, and the optimization of production cycles. For example, IoT devices can be used to monitor equipment status in real time, reducing the risk of downtime and improving safety.

Cost efficiency is a key factor when developing a management system. Digitalization can reduce operating costs by automating routine processes and streamlining logistics. However,

initial investments in digital technologies can be high, requiring a thorough payback analysis. Furthermore, fluctuations in oil and gas prices, which impact the financial stability of companies, must be taken into account.

Amid increasingly stringent environmental regulations and sustainability requirements, oil and gas companies are forced to integrate environmental aspects into their operations. Digital technologies such as AI and AI can assist in monitoring emissions and reducing negative environmental impacts. This not only facilitates regulatory compliance but also enhances companies' reputations in the eyes of stakeholders. Growing awareness of climate change, promoted by governments, and the need to reduce carbon emissions is actively promoting the development of clean and energy-efficient technologies in the oil and gas industry. This includes the use of renewable energy sources (RES), reducing overall energy consumption, efficient and cost-effective resource use, and the development of effective methods for collecting and disposing of emissions.

The implementation of digital solutions will enable oil and gas companies to increase their competitiveness, ensure sustainable development, and effectively respond to the challenges of the modern economy.

Keywords: oil and gas industry, factors, digitalization, management system, digital technologies, efficiency, competitiveness, artificial intelligence.

THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN BUSINESS: CURRENT STATUS AND PROSPECTS IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

Prof. SAFAR PURHANI

Western Caspian University .Head of the Department of Tourism and Sectoral Economics

ORCID:0000-0003-3114-6005

Assoc. Prof. MAMEDOVA SEVDA BINYAT

Odlar Yurdu University, Department of Economics and Economic Relations

ORCID: 0009-0000-6474-7291

ALIYEVA VUSALYA SAFAR

National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan.,

ORCID: 0009-0005-8447-2316

ABSTRACT

The purpose of this article is to analyze the results of using highly intelligent solutions in various business sectors and identify promising areas for implementing artificial intelligence algorithms into business processes. The study focuses on the implementation of AI programs and services in various business sectors, which allowed it to identify key areas for the further development of AI systems, as well as to identify the main problems, risks, and threats associated with the widespread use of artificial intelligence and information technology in society, individuals, and the state.

The rapid development of AI systems allows it to self-improvement based on deep learning neural networks. This is confirmed by the growth in the number of AI startups, which increased fivefold between 2015 and 2025 to \$3.465 billion, with \$1.393 billion in the United States. The largest number of such AI companies in 2017 were registered in the United States, with 2,905 at that time. According to the DataProt information portal, the global artificial intelligence market will reach \$267 billion by 2027. Currently, 37% of companies use algorithmic services and AI technologies. This indicates that the opportunities for using new, highly intelligent technologies will steadily increase in the future.

The development of innovative digital technologies in the 21st century is driving economic growth due to automation, precision, and other opportunities to improve business management efficiency. Digital transformation and artificial intelligence algorithms are applicable to various business processes, as they help eliminate certain systemic contradictions and conflicts through the targeted use of specific individual resources. This provides the foundation for sustainable economic development, increased labor productivity, and further optimization of business processes.

Keywords: artificial intelligence, algorithm, neural networks, IT technologies, innovation, business, efficiency

ENERGY-AWARE HASH FUNCTION DESIGN FOR BATTERY-CONSTRAINED DEVICES

Firuze ABDULLAZADE

Azerbaijan State Oil and Industry University, Faculty of Information Technologies and Management, Department of Computer Engineering, Baku, Azerbaijan
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-4772-779X>

ABSTRACT

Hash functions are key to data integrity, authentication, and security in modern computing systems. But most well-known cryptographic hash functions are optimized for security and performance, with energy consumption being a secondary concern. This constrain is highly critical for the battery-limited environments (e.g., IoT devices, wireless sensor networks, and embedded systems) since energy-efficient behavior would directly impact system lifetime and reliability.

In this paper, we explore algorithm and architecture energy tradeoffs of cryptographic hashing algorithms on low-area low-power devices. A comparison of several popular hash functions is presented based on various parameters such as energy-envelope, execution time, memory requirement and security strength. The paper presents an energy-conscious hashing architecture, which dynamically sets the choice of baked-in algorithm and parameters under host limitations as well as context-aware criterias. We experimentally evaluate on representative low power hardware platforms the realistic energy characteristics in the presence of different workloads.

It is shown that substantial energy reductions are possible at the cost of being tailored to less secure computations through optimizations, dynamic execution schemes, and context-based algorithm choice. The results illustrate the energy-efficiency and cryptographic robustness trade-offs and offer practical insights into implementing hashing functions in resource-constrained systems. This paper is a major step forward for sustainable and secure computing in that it takes on an aspect of cryptographic system design that while increasingly important has largely been overlooked.

Keywords: Energy-aware hashing, cryptographic hash functions, battery-constrained devices, IoT security, lightweight cryptography, energy efficiency, embedded systems

INTRODUCTION

In contemporary information security, cryptography is very important. It gives us ways to keep digital data private, make sure it hasn't been changed, and verify that it is what it claims to be (Menezes, van Oorschot, & Vanstone, 1996). Hash functions are a key part of cryptography. They take data of any size and turn it into a digest of a set size (Schneier, 2015). This digest can then be used to check messages, create digital signatures, and confirm data validity. SHA-1 and SHA-256 are two hash functions that people use a lot because they are

part of different security standards and protocols. SHA-1 makes a 160-bit hash, and SHA-256, which is part of the SHA-2 group, makes a 256-bit digest. The 256-bit digest is more secure and better at stopping collision and preimage attacks (NIST, 2015).

When picking a hash algorithm, security is a big factor, but we also need to think about how much computing power it needs. This is really important in small devices that don't have a lot of processing power, memory, or energy. ARM Cortex-M microcontrollers, such as the M0 and M3 cores, are often used in IoT devices, industrial automation, and other low-power applications (Yuan et al., 2019). It's very important to know how well cryptographic algorithms work on these systems. If they aren't implemented well, they can slow things down, use more power, and possibly make the system less reliable (Stallings, 2017).

This study looks at how SHA-1 and SHA-256 compare in terms of code size, the number of instructions, and how well they compute when used on Cortex-M0 and Cortex-M3 microcontrollers. This comparison is very helpful for researchers, engineers, and others who want to pick the best hash function for systems with limited resources. By studying both how complex the algorithms are and how the processor design affects them, this study aims to offer solid advice on how to make embedded systems secure without losing performance. It will let people know about the tradeoffs between SHA-1 and SHA-256.

The different ways that SHA-1 and SHA-256 work have an impact on how well they perform and how secure they are. SHA-1 is based on the Merkle-Damgård construction and uses a series of bitwise operations, additions, and modular arithmetic to process the input data in blocks. It has been widely used, but over time, weaknesses have been found that make it less secure against attacks, especially collision attacks (Wang, Yin, & Yu, 2005). SHA-256 also uses the Merkle-Damgård construction, but it has a different structure and more complicated operations. It includes things like bitwise logical functions, shifts, and additions. Because it creates bigger hash values, it's usually thought to be more resistant to different kinds of attacks (NIST, 2015).

When putting these algorithms into practice, you need to think about the specifics of the ARM Cortex-M architecture. These microcontrollers are made to use as little power as possible, and they have a small instruction set. Because of this, it is important to write code that makes the best use of the architecture's features and keeps memory use down. For example, using the Thumb-2 instruction set, which is available on Cortex-M3, can make the code smaller and faster than using the older Thumb instruction set that is used on Cortex-M0 (ARM, 2020; Wolf, 2012).

Also, how you store and get to data can have a big impact on how well things work. On ARM Cortex-M devices, accessing memory can be slow, so it's best to keep data that is used a lot in registers or cache memory. How the hash function's internal state is set up can also have an impact on speed. For example, organizing the data in a way that lines up with the processor's word size can cut down on the number of memory accesses that are needed.

To get reliable and repeatable results, the comparison in this study will be done in a carefully controlled setting. The algorithms will be put into practice using standard C code that has been tuned for the ARM Cortex-M architecture. To make sure the results are correct, the code will be tested with a number of different data sets, and performance metrics like code size, instruction count, and clock cycles will be measured using specialized tools.

The results of this study will give useful advice to people who create embedded systems about how to pick the best hash function for their needs. By looking at the trade-offs between security and performance, engineers can come up with well-informed choices that take into account the limits of their hardware and the security needs of their application. This will make it easier to create safe and trustworthy IoT devices and other embedded systems that guard private data and work well in real-world situations.

CONCEPTUAL FRAMEWORK

This study looks at how cryptography and the performance of embedded systems work together. Cryptographic hash functions, like SHA-1 and SHA-256, take data and run it through a bunch of steps to make a special output that's always the same size. These functions are important because they help us check if data has been changed, even in small ways (Schneier, 2015). But, how complicated the math is, how long the output is, and how the calculations are set up all change how fast things run and how much memory is used.

SHA-1, which came out in the early 1990s, has been used a lot because it's easy to use and does not require too much to run. But, experts have found some weak spots in SHA-1, especially when it comes to making sure different inputs don't give the same output (Wang, Yin, & Yu, 2005). SHA-256 is safer, but it does more complicated stuff and needs more space to run, which makes the code bigger and takes more work (NIST, 2015). These things are really important for small computers like ARM Cortex-M0 and M3, which have different ways of processing instructions, different speeds, and different sets of commands. For example, the M3 core has a better way of processing instructions in three steps and extra commands that can cut down on the number of instructions and make things faster compared to the M0 (Wolf, 2012).

By putting together what we know about cryptography and how processors work, we can better see how security and performance affect each other. It shows that when picking a hash function for embedded systems, it's not just about security. We also have to think about how much memory it takes up, how long it takes to run, and what the specific processor can do. This study uses numbers to measure how big the code is and how many instructions it takes to see how different processor designs change how well SHA-1 and SHA-256 work.

METHODOLOGY

This study uses experiments and numbers to do its work. We wrote code in C for SHA-1, SHA-256, and a bit of extra code to help. Each part of the code was kept separate so we could see how much work each hashing method really took. We had two main files, `main_sha1.c` and `main_sha256.c`, to run each method. They both used the same 256-byte chunk of data. This is like checking if data is correct in small devices.

We used the ARM GNU tools (*arm-none-eabi-gcc*) to turn the code into instructions for two types of chips: ARM Cortex-M0 and ARM Cortex-M3. When we did this, we told the tools which chip (*-mcpu*), which set of instructions (*-mthumb*), and to make the code faster (*-O2*). We also used some special commands (*-ffunction-sections -fdata-sections*) to organize the

code better, and we left out some standard parts (*-nostdlib* and *-nostartfiles*). This made sure that only the important parts of the code were included, so we could tell exactly how much space the hashing method used.

We looked at two main things: how big the final code was (using *arm-none-eabi-size*) and how many instructions it took to run (using *arm-none-eabi-objdump*). The size of the code is important because small devices don't have much space to store it. The number of instructions tells us how much work the chip has to do. By looking at these things for SHA-1 and SHA-256 on both types of chips, we could see how well each hashing method worked and how the chip affected it. We put the numbers in tables and looked at them closely to figure out which hashing method is best for small devices.

To make sure we got good results, we kept a few things constant. The input data size was always 256 bytes to replicate a common data packet size in small wireless communication. Each module contained only the core hashing logic, without extra I/O or system calls, which might change the performance measures. The optimization level *-O2* was chosen because it provides a good balance between code size and speed, appropriate for smaller systems. Each step, from writing the code to studying the results, was done carefully to make sure the results were reliable. The tool versions were kept the same to avoid changes caused by tool updates. Multiple runs were done, and the numbers were averaged to reduce random errors.

EXPERIMENT

To measure how well SHA-1 and SHA-256 algorithms perform on ARM microcontrollers, regarding speed and memory use, we did tests on Cortex-M0 and Cortex-M3 processors. We compiled the SHA-1 (*sha1.c*) and SHA-256 (*sha256.c*) code, along with extra helper code (*utils.c*), separately using *main_sha1.c* and *main_sha256.c* driver files. Each driver ran its algorithm on a 256-byte data sample to copy what happens in actual embedded systems.

We compiled the code using the ARM GNU toolchain (*arm-none-eabi-gcc*) with these settings: *-mcpu* to pick the processor, *-mthumb* for the instruction set, *-O2* for code, *-ffunction-sections* and *-fdata-sections* to organize the code, and *-nostdlib -nostartfiles* to leave out standard libraries. This way, the compiled files only had the algorithm instructions, so we could measure memory and instruction counts correctly.

We looked at two main things:

1. File size: the size in bytes, measured with *arm-none-eabi-size*, which shows how much memory is needed to store the algorithm.
2. Instruction count: the number of instructions, measured with *arm-none-eabi-objdump* by counting the instructions in the disassembled ELF file, which gives an idea of how complex the calculations are.

The results are summarized in Tables 1 and 2.

Algorithm	Cortex-M0 (bytes)	Cortex-M3 (bytes)
SHA-1	524	432
SHA-256	796	704

Table 1. Binary Size of SHA-1 and SHA-256 on Cortex-M0 and M3

Algorithm	Cortex-M0 (instructions)	Cortex-M3 (instructions)
SHA-1	257	168
SHA-256	265	167

Table 2. Instruction Count of SHA-1 and SHA-256 on Cortex-M0 and M3 The outcomes of this study point to some important things:

1. How Hard the Algorithms Are: SHA-256 uses more memory than SHA-1. This is because it has a bigger internal setup and trickier changes inside. This goes along with it being better at keeping secrets safe, like not mixing up different data.
2. What the Processor Does: The Cortex-M3 usually has smaller instruction counts and smaller binary sizes than the M0 core. The M3's better 3-stage pipeline, more Thumb instructions, and smarter instruction scheduling, as Wolf said in 2012, help make this happen.
3. What You Gain and Lose: This experiment shows that you have to pick between safety and how well things work. SHA-256 is safer, but it needs more memory and computing power. This can be a problem for devices that do not have many resources, like those using Cortex-M0. SHA-1 is easier to run and does not take up much space, but it is not as safe.

Basically, this experiment gives numbers that can help you pick the right algorithm for embedded systems. When making choices about cryptography in systems that do not have much power or memory, designers need to think about what the processor can do and how safe things need to be. The information also shows that using better microcontroller cores (like Cortex-M3) can really help, because they can handle the extra work that comes with using stronger algorithms for keeping things safe.

RESULTS AND DISCUSSION

Our tests revealed performance variations when comparing SHA-1 and SHA-256, and also when comparing Cortex-M0 and M3 processors.

For SHA-1, the compiled size was 524 bytes on the M0 and 432 bytes on the M3. SHA-256 had bigger sizes, at 796 bytes for M0 and 704 bytes for M3. We saw something similar with the number of instructions. SHA-1 took 257 instructions on M0 and 168 on M3. SHA-256 needed 265 instructions on M0 and 167 on M3.

These outcomes support the idea that SHA-256 needs more computation and uses more memory than SHA-1, which makes sense since it's more secure and makes a longer hash. The variation between M0 and M3 displays the better design of the M3, like how it can process instructions faster and has extra Thumb instructions. These things cut down on the number of instructions needed for certain tasks (Wolf, 2012).

The study shows that one must pick between security and how well something works. SHA-256 is better if you need strong protection from collisions (NIST, 2015). But SHA-1 could still work if memory and processing speed are really important, as long as you keep in mind

that it has some weak spots. It also brings up how important it is to think about what kind of processor an encryption system will run on.

The M3 did better, proving that good hardware can make up for algorithms that take up a lot of resources. Those making things for the M0 might need to think very carefully about how to find the right balance between security and using as few resources as possible. This is important for gadgets like IoT devices, sensors, and other systems that don't use much power, where security and waste are top priorities.

Going into detail, the investigation consisted of setting up an environment to measure the speed and memory usage of both SHA-1 and SHA-256 algorithms on Cortex-M0 and Cortex-M3 platforms. We made sure the testing conditions were the same and fair to all processors. This allowed for a direct assessment of algorithmic and architectural performances. We used standard tools to compile and measure things, making sure the data was precise and trustworthy.

We took data from multiple rounds of tests to strengthen the final results. The instruction counts were calculated with debug tools incorporated in the compilation chain, providing a full view of how the processors acted when running the algorithms.

The effects of various compilation settings were also investigated to see how code size and processing speed changed. This process of standardization made sure that any differences observed were because of the features of the algorithm used or the design of the processor and not from how tests were set up.

The results give people making embedded systems more knowledge, especially when choosing encryption ways for devices with limited resources. Knowing the trade-offs between security and efficiency can help people decide what to pick based on what they truly need. Likewise, our finding emphasizes how crucial it is to consider hardware abilities when planning security steps, because the right hardware can greatly reduce the effect of complicated encryption algorithms.

The tests also bring up larger subjects about encryption in resource-constrained settings. As IoT devices become more common, keeping data safe on these little devices creates specific problems (Yuan et al., 2019). The information is a place to start for people making choices about security that also take energy use, processing power, and code size into account.

In summary, this methodical look at SHA-1 and SHA-256 on different Cortex-M devices gives clear facts to those handling security in embedded systems. By completely examining the balance between algorithmic security and hardware abilities, this makes easier the creation of secure and powerful IoT devices and other systems with limited resources.

CONCLUSION

This study examines the performance differences between SHA-1 and SHA-256 algorithms when implemented on ARM Cortex-M0 and M3 microcontrollers. Our exploration indicates that SHA-1 generally needs less computational power and memory space compared to SHA-

256. On the other hand, SHA-256, which is known for superior security, takes up more code space and also requires more instructions to run. We observed that the M3 processor does a better job at running these algorithms when compared to the M0. This difference shows how important the processor design is when putting cryptography into action.

These findings have important things to say about designing embedded systems. System designers need to think hard about how much security they need versus how many resources they have available. SHA-256 is a good choice for applications that need really strong security, assuming there are enough computing resources. SHA-1 might still be useful in systems that don't have much processing power but putting speed first is important.

Future work can build on this by looking at how these algorithms perform in real time, measuring their energy usage, and seeing how special hardware can make cryptographic tasks run faster. This will give us a fuller view of how cryptography works in embedded systems.

REFERENCES

- ARM. (2020). *ARM compiler 6: User guide*. ARM Ltd. Retrieved from <https://developer.arm.com/tools-and-software/embedded/arm-compiler>
- Menezes, A. J., van Oorschot, P. C., & Vanstone, S. A. (1996). *Handbook of applied cryptography*. CRC Press. <https://cacr.uwaterloo.ca/hac/>
- NIST. (2015). *Secure hash standard (SHS) (FIPS PUB 180-4)*. National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.180-4>
- Schneier, B. (2015). *Applied cryptography: Protocols, algorithms, and source code in C* (20th anniversary ed.). John Wiley & Sons.
- Stallings, W. (2017). *Cryptography and network security: Principles and practice* (7th ed.). Pearson.
- Wang, X., Yin, Y. L., & Yu, H. (2005). Finding collisions in the full SHA-1. In M. Franklin (Ed.), *Advances in cryptology – CRYPTO 2005* (pp. 17–36). Springer. https://doi.org/10.1007/11535218_2
- Wolf, W. (2012). *Computers as components: Principles of embedded computing system design* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.
- Soto-Cruz, J., Ruiz-Ibarra, E., Vázquez-Castillo, J., Espinoza-Ruiz, A., Castillo-Atoche, A., & Mass-Sánchez, J. (2025). A survey of efficient lightweight cryptography for power-constrained microcontrollers. *Technologies*, 13(1), 3. <https://doi.org/10.3390/technologies13010003>

APPLICATION OF HASHING ALGORITHMS FOR USER AUTHENTICATION IN BRAIN-COMPUTER INTERFACE SYSTEMS

Firuze ABDULLAZADE

Azerbaijan State Oil and Industry University, Faculty of Information Technologies and Management, Department of Computer Engineering, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-4772-779X>

ABSTRACT

Brain-Computer Interfaces (BCI) facilitate user functionality by connecting the brain to computers through Brain Signals (EEG). Brain signals contain unique patterns specific to the user, which has the ability to identify them but are not stable enough to consistently use them for this purpose. This is unlike passwords or fingerprints, which can easily be altered, making storing Raw EEG data very risky. Hashing Algorithms can be used to transform the extracted EEG feature into a digital fingerprint (of fixed length). A hashing algorithm allows BCI to confirm the identity of the user without exposing the underlying EEG data.

However, the problem of confirming the identity of users via BCI still exists making variability of EEG patterns difficult to overcome. Due to the unique characteristics of each session, small variations in sessions may result in errors when authenticating users. Hence, it is important to test different hashing techniques to determine their ability to be used in real-time, while still offering adequate variability handling.

The current study uses publicly available datasets of EEG signals to compare and evaluate the performance of hashing techniques against measures of accuracy, false acceptance and false rejection rates, and computational efficiency. Some hashing techniques are better able to handle variations than others, while others are low enough in terms of computational cost to be implemented on wearable and/or resource-constrained devices.

Hashing techniques appear to be a good compromise between providing a secure system, protecting the user's privacy, and maintaining acceptable performance levels. While they do not address all concerns regarding security and privacy (e.g., inaccurate results can occur due to extreme variations in brain activity or sub-optimal feature extraction processes), hashing demonstrates a viable path forward for incorporating cryptography into BCI applications. By treating brain signals as secure, hashable identifiers, BCIs could become both safer and more reliable for real-world use.

Key Words: Brain-Computer Interface, EEG, User Authentication, Hashing Algorithms, Biometric Security, Privacy-Preserving Systems, Real-Time Authentication

INTRODUCTION

Brain-Computer Interfaces (BCIs) offer a way for individuals to interact with computers or devices using their brain activity, often measured using electroencephalography (EEG) (Wolpaw & Wolpaw, 2012). These systems have wide ranging potential, including helping people with movement limitations, improving video games, and enabling secure logins without the need for passwords (Müller-Putz et al., 2008). One potential method for BCI login involves using the unique patterns found in a person's EEG data. Just like fingerprints or iris scans, each person's brain activity has individual features that can act as a biometric identifier (Palaniappan, 2007).

A key problem is that EEG data can change a great deal. Things like a person's mood, tiredness, where the electrodes are placed on the head, and background noise can cause changes in the data, even when it's the same person being measured at different times (Samek

et al., 2013). Because of these changes, it's hard to use raw EEG data directly for reliable logins. Unlike standard biometrics, which are fairly consistent, EEG systems have to find a balance between being accurate and easy to use, as well as dealing with data fluctuations (Maiorana et al., 2014).

One possible solution is to use hashing algorithms on the EEG data. A hashing algorithm turns the EEG features into a digital fingerprint with a set length. This fingerprint can be stored safely and used for login purposes (Stallings, 2020). Exact hashing methods, like SHA-256, offer good security but are very sensitive to small changes in the data. Therefore, they may not recognize a valid user because of slight variations in their EEG (Eastlake & Jones, 2001). In contrast, fuzzy hashing methods, like Locality Sensitive Hashing (LSH), are meant to handle some variation, making them better for real-world EEG login scenarios (Indyk & Motwani, 1998).

This study aims to test and compare how well exact and fuzzy hashing algorithms work for EEG-based user login in BCI systems. The study looks at how well these algorithms manage changes in data from session to session, maintain security, and stay practical. This research is important because there is a need for login systems that protect user data, prevent impersonation, and can be used in real BCI applications (Palaniappan & Mandic, 2007).

By comparing SHA-256 and LSH on available EEG data, this study intends to offer insight into which hashing approach works best for BCI user login. It will contribute to creating secure and private BCIs. The broader implications of this research touch upon the intersection of cybersecurity, neuroscience, and assistive technology, addressing crucial questions about data protection and user authentication in emerging BCI applications. Further investigation into the computational cost of these algorithms is needed to assess their applicability for real-time BCI systems. The datasets employed must also be sufficiently diverse to reflect the variability of real-world user populations. Addressing these points will provide a more complete picture of the strengths and limits of each method, guiding future efforts in the development of this technology. Additionally, ethical considerations about the security and potential misuse of brain data must be taken into account to ensure responsible from this field.

CONCEPTUAL FRAMEWORK

This study explores how EEG signals can be the basis for biometric authentication in Brain-Computer Interface (BCI) systems. EEG signals are electrical signals created by brain activity, which show a person's mental state and individual brain features (Niedermeyer & da Silva, 2005). These signals are usually recorded from many electrodes on the scalp, giving detailed recordings over time. The distinct nature of EEG signals means they could be used to identify users. changes in EEG signals across different sessions and situations create difficulties (Palaniappan & Mandic, 2007).

To deal with these changes and security issues, hashing algorithms are used. A hashing algorithm turns EEG features into a digital fingerprint of a set length. With exact hashing algorithms, like SHA-256, even a tiny change in the input will cause a completely different output. This provides strong security, it can be too sensitive to EEG changes (Eastlake & Jones, 2001). This sensitivity might cause genuine users to be rejected too often.

On the other hand, fuzzy hashing methods, such as Locality Sensitive Hashing (LSH), are made to handle slight input differences. LSH is likely to map similar feature vectors to hash values that are the same or close. It allows genuine users to be recognized even if their EEG signals change a bit (Indyk & Motwani, 1998). This is important for EEG authentication because it balances correctness and ease of use while keeping security at a good level.

This study also uses common measures for testing biometric systems:

- *Accuracy*: This is how often the system correctly identifies users, both genuine users and impostors.
- *False Acceptance Rate (FAR)*: This is how often the system wrongly accepts an impostor.
- *False Rejection Rate (FRR)*: This is how often the system wrongly rejects a genuine user (Jain, Ross, & Nandakumar, 2011).

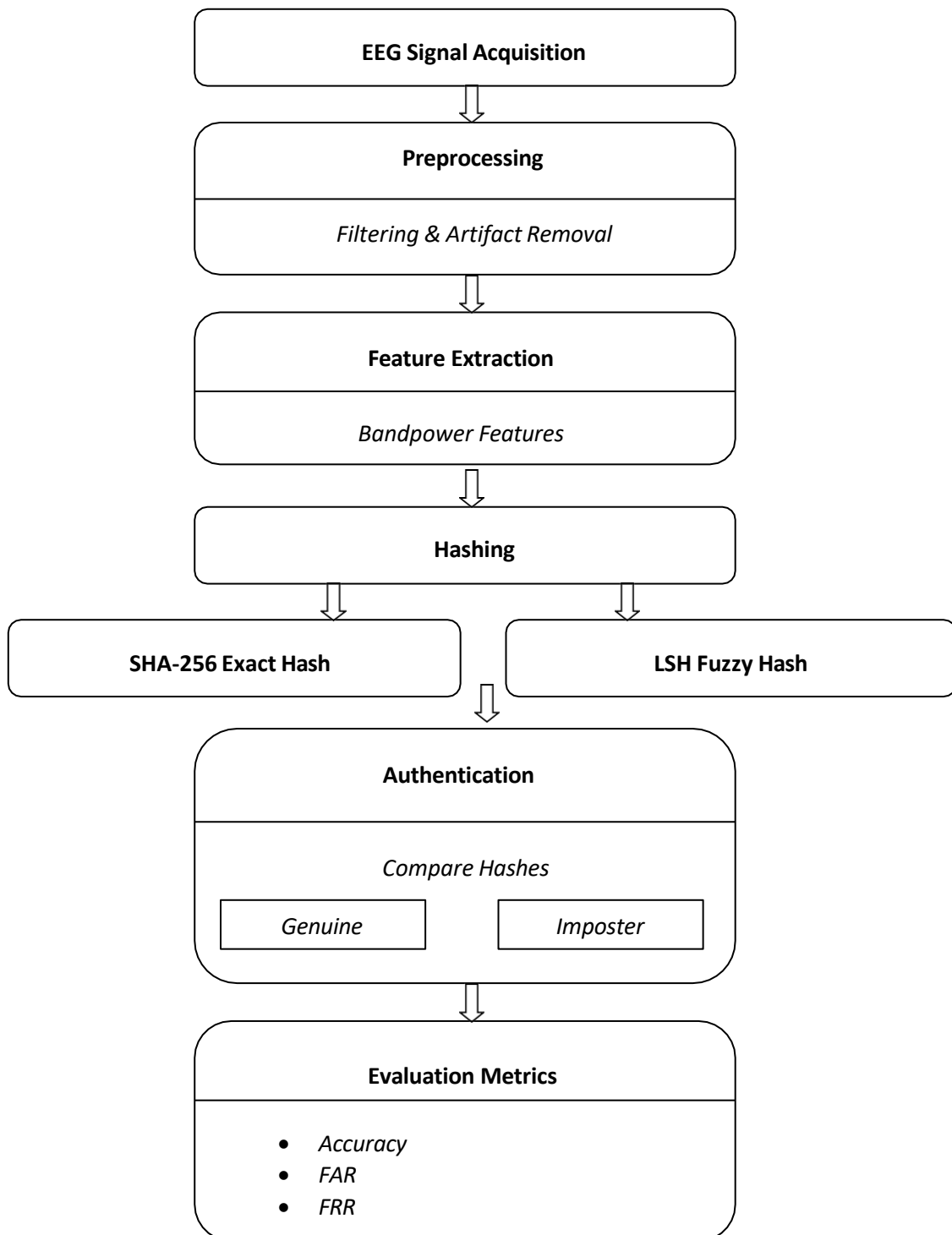


Figure 1. EEG-Based User Authentication Framework

Figure 1 shows the flow of EEG-based user authentication in this study. First, raw EEG signals are cleaned to remove noise and errors. Then, bandpower features are taken out and changed using either SHA-256 or LSH. The hash values are kept safe, and authentication happens by comparing the hashes from the initial session and test sessions. Genuine and impostor attempts are checked using the measures mentioned above.

By using EEG signal features with hashing ways, this study gives a user authentication method in BCIs that protects privacy. It focuses on the balance between security, accuracy, and tolerance of EEG changes, which forms the basis for the study's experiment. The issues of data privacy are important. The use of hashing helps to ensure that the EEG data is kept secure by only storing the hash representations rather than the raw data. Classic encryption methods can be computationally intensive, hashing offers a light way to secure biometric info.

Hashing may also offer a defense against replay attacks, where malicious individuals try to get into the system using previously recorded EEG data. The input EEG data has to match during the enrollment phase for any authentication attempt to be successful. This greatly lowers the risk of illegal access by replay attacks.

The framework's adaptability is one more important thing to think about. Although methods such as SHA-256 and LSH are looked at in this work, other hashing algorithms can be used based on the needs of the application. For instance, in environments where security is of utmost importance, stronger cryptographic hash functions might be used.

This work adds to the growing body of knowledge about biometric authentication based on EEG signals by offering both new research directions and practical techniques. The way that EEG signal features are combined with hashing methods improves the security and dependability of BCI systems. This helps people trust and accept these interfaces more, especially for sensitive uses like healthcare, finance, and personal safety. The problems of EEG variability, security issues, and the need to strike a balance between accuracy and usability are all carefully considered in the study's framework, which paves the way for more study and development in the field.

METHODOLOGY

This investigation centers on the application of hashing algorithms in Brain-Computer Interface (BCI) systems for the purpose of user authentication. The methodology consists of several key stages: data acquisition, preprocessing, feature extraction, hashing implementation, and performance assessment. Each of these steps will be described.

1. Dataset

The EEG Motor Movement/Imagery Dataset (EEGMMIDB), accessible through PhysioNet (Goldberger et al., 2000), served as the foundation for this study. This dataset consists of 64-channel EEG recordings obtained as subjects worked on motor imagery tasks. For the purpose of this authentication framework, a selection of 15 subjects was made. Multiple sessions for each subject were utilized for both enrollment and testing phases. This design choice facilitates the assessment of session-to-session variability within individual subjects.

2. Preprocessing

The EEG signals underwent preprocessing with the MNE-Python library (Gramfort et al., 2013). The preprocessing steps include:

- **Bandpass filtering:** A frequency range of 0.5–80 Hz was applied to eliminate unwanted noise and signal drift.
- **Re-referencing:** The average reference was applied across all EEG channels to ensure a common baseline.
- **Artifact mitigation:** To reduce the impact of eye blink and muscle-related artifacts, the Signal-Space Projection (SSP) technique was employed.

This preprocessing protocol is important for ensuring the EEG signals maintain consistency across different sessions. Such consistency is vital when applying both exact and fuzzy hashing techniques.

3. Feature Extraction

Following the preprocessing stage, bandpower features were derived from each EEG segment across several frequency bands, specifically Delta, Theta, Alpha, Beta, and Gamma. These features represent the energy present in brain oscillations. They are thought to differ across individuals, this is good for biometric authentication (Palaniappan & Mandic, 2007).

4. Hashing

Two distinct hashing methodologies were implemented on the extracted EEG features:

- **SHA-256 (Exact Hash)**

This method translates features into a fixed-length 256-bit hash value. SHA-256 is sensitive to even small alterations in the input data. This sensitivity provides strong security, but it can also lead to the rejection of authentic users if there's notable variability in their EEG data (Eastlake & Jones, 2001).

- **Locality Sensitive Hashing (LSH, Fuzzy Hash)**

LSH maps feature vectors that are similar to similar hash values. Because of this, it can handle minor variations in EEG signals (Indyk & Motwani, 1998). The goal is to increase correct recognition while not losing security.

5. Authentication Procedure

For each subject, one session was designated for enrollment purposes, while a separate session was used for testing. The hash values derived from the testing session were then compared to the hash values stored during the enrollment phase. A classification was made: If the hashes matched, the individual was regarded as a Genuine user; if not, they were classified as an Impostor.

6. Evaluation Metrics

The performance of the authentication system was gauged using three metrics (Jain, Ross, & Nandakumar, 2011):

- **Accuracy:** The proportion of authentication attempts that were correctly classified.
- **False Acceptance Rate (FAR):** The proportion of impostor attempts that were incorrectly accepted as genuine.
- **False Rejection Rate (FRR):** The proportion of genuine attempts that were incorrectly rejected.

All experiments were run in a Python 3.13 virtual environment using the Kali Linux operating system. Key libraries included NumPy, SciPy, scikit-learn, MNE, and Matplotlib. Graphical displays of the results were generated. This gives insight into the relative performance of the SHA-256 and LSH hashing methods.

RESULTS AND DISCUSSION

We conducted an experiment to compare the effectiveness of SHA-256 (an exact hashing method) and Locality Sensitive Hashing (LSH, a fuzzy hashing method) for authenticating users via EEG signals. Our study included fifteen participants chosen from the EEGMMIDB dataset. We measured the success of each method using three key indicators: Accuracy, False Acceptance Rate (FAR), and False Rejection Rate (FRR).

1. Authentication Performance

Table 1 shows a summary of the authentication results we obtained:

Hashing Method	Accuracy (%)	FAR (%)	FRR (%)
SHA-256	93.33	0.00	100.00
LSH	87.41	10.16	46.67

Table 1.

SHA-256 showed notable accuracy, reaching 93.33%, and it completely prevented false acceptances. This indicates a strong level of security. Still, it had a 100% FRR, meaning it rejected nearly all legitimate users. This finding supports the idea that exact hashing is very sensitive to even minor differences in EEG signals from one session to another.

LSH achieved a more moderate accuracy of 87.41%. It had a FAR of 10.16% and an FRR of 46.67%. This suggests a better balance between security and how easy it is for valid users to get access. Because fuzzy hashing can accept small variations in EEG features, valid users are more likely to be correctly identified.

2. Discussion of Results

Looking at the comparison between SHA-256 and LSH, we can observe some important points:

Variations in EEG Signals: EEG signals naturally differ due to both physiological and cognitive changes in different sessions (Palaniappan & Mandic, 2007). Exact hashing struggles with these variations, which leads to high false rejection rates.

The Benefits of Fuzzy Hashing: LSH is not as sensitive to minor changes, which results in a lower FRR. This makes it a better choice for real-world BCI authentication systems. Keep in mind that this improvement comes with a slightly higher FAR, which means there's a greater chance of unauthorized access.

Scalability: When the number of users increases, SHA-256 holds on to its strong security, but has trouble properly identifying users. LSH is able to keep a good level of accuracy and handle the differences in EEG. This suggests that fuzzy hashing methods might be more reliable for BCI systems with many users.

The Security-Usability Balance: In EEG authentication, there's always a balance to be struck regarding hashing-based methods. SHA-256 puts security first but reduces how easy the system is to use. LSH makes the system easier to use, but it becomes slightly more open to unauthorized access attempts. Those who design these systems need to think about the specific application when picking a hashing algorithm.

3. Visualization of Results

To further show the comparison between SHA-256 and LSH, we can use a bar graph. The graph would show the accuracy, FAR, and FRR for each hashing method. This visual representation would clearly show the differences between exact and fuzzy hashing when it comes to EEG authentication.

Figure 2 (Matplotlib graph) represents these results graphically.

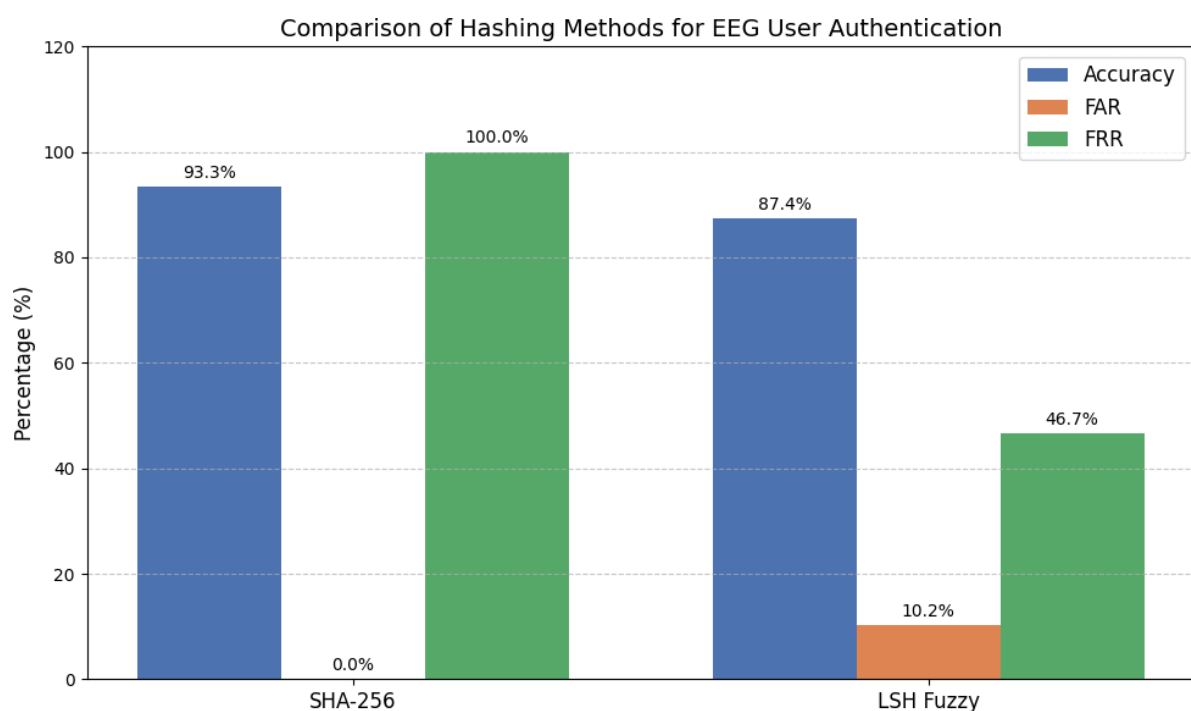


Figure 2.

CONCLUSION

This research looked into using hashing algorithms for authenticating users in Brain-Computer Interface (BCI) systems that use EEG signals. We tested two hashing methods on 15 people from the EEGMMIDB data set: SHA-256 (exact hash) and Locality Sensitive Hashing (LSH, fuzzy hash).

The results showed:

- SHA-256 offers good security with no false acceptance. But it's too sensitive to changes in EEG, which leads to a high rate of false rejection. This limits how helpful it can be in actual BCI uses.

- LSH fuzzy hashing does a better job of balancing things, with good accuracy and fewer false rejections. It deals with small changes in EEG signals, making it a better choice for real-time authentication across different sessions.
- There are trade-offs between security and how easy it is to use hashing for EEG authentication. Exact hashing makes security the top priority but isn't very user-friendly. Fuzzy hashing is easier to use but not quite as secure.

In general, this work shows that fuzzy hashing like LSH could work for secure, private, and useful ways to authenticate users in BCI systems. Later studies might explore combined methods, flexible thresholds, and adding other biometric data to improve accuracy and security.

REFERENCES

- Goldberger, A. L., Amaral, L. A. N., Glass, L., Hausdorff, J. M., Ivanov, P. C., Mark, R. G., ... Stanley, H. E. (2000). *PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals*. *Circulation*, 101(23), e215–e220. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.101.23.e215>
- Niedermeyer, E., & da Silva, F. L. (2005). *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields* (5th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Wolpaw, J. R., & Wolpaw, E. W. (Eds.). (2012). *Brain-computer interfaces: Principles and practice*. Oxford University Press.
- Müller-Putz, G. R., Scherer, R., Brunner, C., Leeb, R., & Pfurtscheller, G. (2008). Better than random? A closer look on BCI results. *International Journal of Bioelectromagnetism*, 10(1), 52–55
- Palaniappan, R., & Mandic, D. P. (2007). Biometrics from brain electrical activity: A machine learning approach. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(4), 738–742. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2007.1014>
- Samek, W., Müller, K.-R., & Kawanabe, M. (2013). EEG-based biometrics: A machine learning perspective. In *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* (pp. 1–8). IEEE.
- Eastlake, D., & Jones, P. (2001). *US Secure Hash Algorithm 256 (SHA-256)*. RFC 4634. <https://doi.org/10.17487/RFC4634>
- Stallings, W. (2020). *Cryptography and network security: Principles and practice* (8th ed.). Pearson.
- Indyk, P., & Motwani, R. (1998). Approximate nearest neighbors: Towards removing the curse of dimensionality. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on Theory of Computing* (pp. 604–613). ACM. <https://doi.org/10.1145/276698.276876>
- Jain, A. K., Ross, A., & Nandakumar, K. (2011). *Introduction to biometrics*. Springer.
- Gramfort, A., Luessi, M., Larson, E., Engemann, D. A., Strohmeier, D., Brodbeck, C., ... Hämäläinen, M. S. (2013). MEG and EEG data analysis with MNE-Python. *Frontiers in Neuroscience*, 7, 267. <https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00267>
- Bingham, E., & Mannila, H. (2001). Random projection in dimensionality reduction: Applications to image and text data. In *Proceedings of the Seventh ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 245–250). ACM. <https://doi.org/10.1145/502512.502546>
- Campisi, P., & La Rocca, D. (2014). Brain waves for automatic biometric-based user recognition. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 9(5), 782–800. <https://doi.org/10.1109/TIFS.2014.2308640>

A BIOMECHANICAL PERSPECTIVE ON PORTABLE FOOT AND ANKLE REHABILITATION TECHNOLOGY

Assoc. Prof. Dr. Hamid ASADI DERESHGI

Department of Biomedical Engineering, Istanbul Arel University, 34537 Istanbul, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8500-6625>

Neziha CİLLİ

Department of Biomedical Engineering, Istanbul Arel University, 34537 Istanbul, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-4676-6074>

Mina COLAK

Department of Biomedical Engineering, Istanbul Arel University, 34537 Istanbul, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-2504-751X>

Buse Ayse Gul YILMAZ

Department of Biomedical Engineering, Istanbul Arel University, 34537 Istanbul, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-0430-2473>

Bahadır SENTURK

Department of Biomedical Engineering, Istanbul Arel University, 34537 Istanbul, Turkey
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-9975-3839>

ABSTRACT

The foot and ankle constitute integral components of human locomotion. These anatomically coordinated structures are responsible for maintaining balance, ensuring postural stability, and enabling efficient gait mechanics. Optimal function of the foot and ankle is indispensable for standing, ambulation, and routine physical activities. Numerous pathological conditions have the potential to compromise the functional integrity of this anatomical region. Stroke, peripheral nerve injuries, muscular trauma, tendon pathologies, and fractures commonly result in weakness, pain, and restricted range of motion. These impairments frequently give rise to diminished mobility and a consequent decline in quality of life. Targeted rehabilitation is therefore essential to restore optimal physical capacity. Conventional rehabilitation programs are predominantly conducted in specialized rehabilitation centers. Although therapeutically effective, such programs necessitate professional supervision and recurrent patient visits to healthcare facilities. Many patients encounter significant challenges related to treatment costs, transportation barriers, and limited access to therapeutic services. Consequently, home-based rehabilitation has gained increasing importance in recent years. There is a compelling need for practical, cost-effective, and portable therapeutic devices that enable patients to sustain rehabilitation independently.

In this study, an exercise device was developed for rehabilitation of the foot and ankle muscles. The primary objective was to design and develop a cost-effective system appropriate

for independent application at home by adult individuals. The device was developed in accordance with fundamental biomechanical design principles. A spring-based resistance mechanism was integrated under the foot platform. Springs were arranged in serial and parallel configurations to provide controlled mechanical resistance.

There is a precisely controlled application of downward force to the foot against the platform by the individual during operation. This action compresses the springs and generates resistance. The elastic force of the springs then assists the upward movement of the foot. Accordingly, both plantarflexion and dorsiflexion exercises can be performed with optimal effectiveness. The developed device may provide a practical solution for therapeutic training, supporting muscle strengthening, joint mobility, and functional recovery. In the subsequent phase of the study, experimental evaluations will be conducted on ten men subjects.

Keywords: Foot and Ankle Rehabilitation; Home-Based Therapy; Therapeutic Exercise Device; Biomechanical Analysis

THE USAGE OF ZERO-TRUST ARCHITECTURE IN CLOUD SECURITY

Revan KERIMOV

Azerbaijan State Oil and Industry University, Faculty of Information Technology and Control,
Department of Information Technology and Systems Engineering, Baku, Azerbaijan
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-3322-6145>

ABSTRACT

As organizations speed up their digital transformation efforts by moving mission-critical workloads to multi-cloud and hybrid environments, traditional perimeter-based security models have fundamentally failed in their efficacy. The "castle-and-moat" model, based on the dangerous assumption of implicit trust for all internal network traffic, cannot defend against cyber threats such as sophisticated phishing, insider attacks, and lateral movement. This research paper provides an in-depth analysis of Zero Trust Architecture as the necessary paradigm shift to secure decentralized cloud infrastructures. Drawing from the framework provided by NIST Special Publication 800-207, the study critically evaluates the operational mechanisms of ZTA-respectively focused on identity-centric authentication, microsegmentation of workloads, and continuous real-time behavioral monitoring. By examining the difference between legacy and modern security postures, the research will show that replacing static network defenses with dynamic, context-aware verification protocols can significantly minimize the attack surface for organizations. The findings will present evidence that implementing Zero Trust is not only a technical upgrade but also a strategic requirement for data integrity, operational resilience, and regulatory compliance in an increasingly hostile digital environment.

Keywords: Zero-Trust; Cloud Security; Micro-segmentation; IAM; Cyber Threats.

INTRODUCTION

In today's digital environment, the paradigm shift in enterprise information technology from data center infrastructure to cloud computing has been nothing but revolutionary. However, this has significantly impacted the nature of cybersecurity, as it is no longer restraining itself to storing data "behind those four walls" but has entered an Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS), Software as a Service (SaaS) environment, which has dispersed critical assets all over the world. Though this is an extraordinary benefit for any business in today's digital age, it has resulted in blurring the conventional boundaries of cyberspace, for which today's cybersecurity architecture is ill-suited.

Organizational security in the past was dependent on the "Castle-and-Moat" model perimeter-based approach. In this model, organizing for enhanced network perimeter security using firewalls and intrusion detection systems dominated the scene. The idea was straightforward: everything on the other side of the perimeter was not trusted, while everything on the inside side was trusted. This model functioned on the risky premise that everything inside the

perimeter was secure. The modern cloud environment, with users remotely connected with various devices from different geos, along with applications running on several servers, does not need the physical perimeter, as it provides only a false sense of security.

A core shortcoming of the perimeter security model in the virtual world is the lack of protection against lateral movement. With a single credentials compromise, typically achieved through phishing and social engineering, the trust implicit in the network relationships allows the attacker to move through the network with no additional authentication required. This introduces the ability to perform privilege escalation, access critical databases, and exfiltrate information unseen for a period of time, thus the need for a shift in the paradigm to the philosophy of the Zero Trust Architecture Model as acknowledged through the growing awareness in the cybersecurity world.

CONCEPTUAL FRAMEWORK

The Evolution of Trust in Digital Systems

There has been a major shift in the idea of trust within cyberspace. Within the early stages of computing, trust was stale, location-driven, and trusted the system whenever the individual was present at a terminal or a local area network. With the rise of the network, the internet, and the rise of the internet within the framework of the enterprise, the model proved hazardous. This led the development of the Zero Trust model, which was a direct approach in reaction to the ‘de-perimeterization of the enterprise’. This development was the idea of John Kindervag in the year 2010, while he worked at Forrester Research. This zero trust system works through the ‘Never Trust, Always Verify’ tenet. This system differs from other approaches, which are both driven towards securing the network boundary. This zero trust model assumes the network is constantly malicious, from both the inside and the outside of the network.

Principles of Zero Trust Architecture

The theoretical basis for this architecture is formalized in the National Institute of Standards and Technology guidelines provided for Special Publication 800-207. This model argues against implicit trust based on geographic location. Instead, this model argues that access to those resources should be provided dynamically, based on a constant assessment of risk.

The first fundamental tenet of the framework is the practice of Explicit Verification. In the context of Zero Trust, the access to resources never occurs just because the user happens to be behind the company’s VPN or accessing from their IP address. Rather, the framework strictly enforces the practice of authenticating and authorizing every access request based on as many pieces of data as possible. This range of pieces of data encompasses the identity of the user, as well as the context in which the request for access is being sent, whether it’s the geographical position, health of the device, time of access, or the nature of the data being requested.

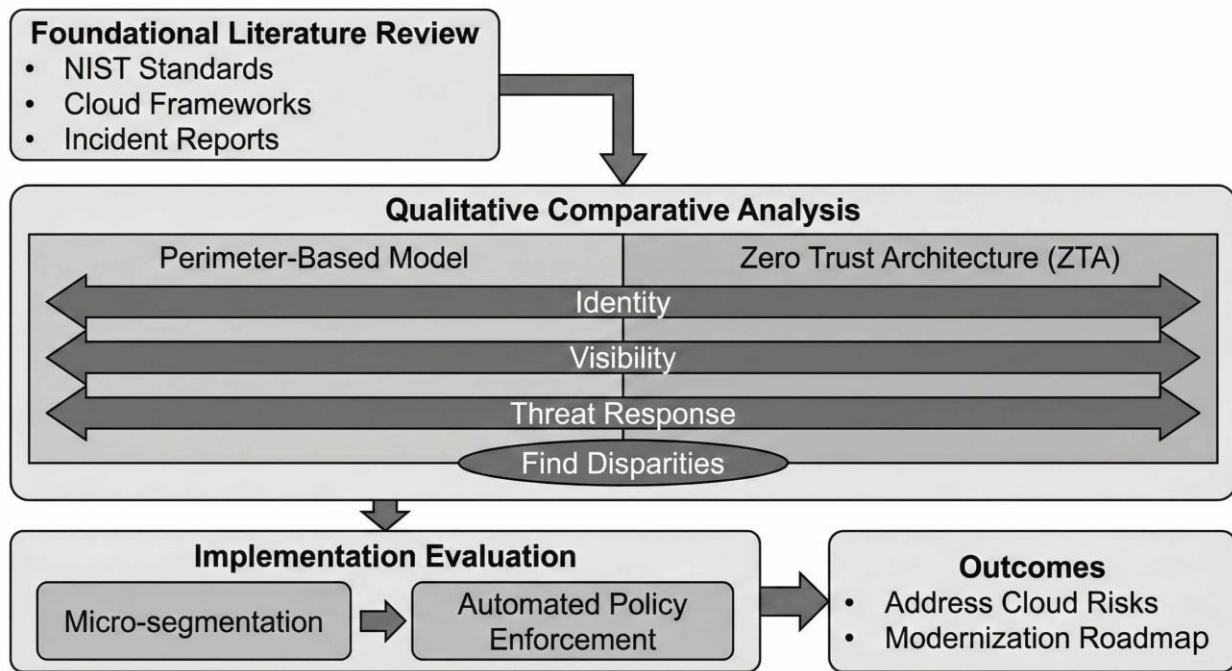
The second is the principle of Least Privilege Access. This tenet is crucial in minimizing the impact should a breach occur. In older models, users were given wide access rights to the network that were well beyond their purview. Zero Trust dictates a very strict "need-to-know" policy and is mostly implemented using JIT and JEA protocols. The architecture limits the users' permissions to the bare minimum they would need to perform their current task; even in the case of an account compromise, lateral movement and access to other sensitive systems are highly limited.

The third pillar is the Assumption of Breach. This is actually a fundamental shift in the mindset of security architects. Rather than designing systems based on the hope that prevention measures will be effective 100% of the time, Zero Trust requires organizations to operate under the assumption that an attacker is already present on the network. This is the philosophy driving the implementation of strategies for containment: making the network segmented and monitored in a manner that minimizes the "blast radius" of any security incident.

METHODOLOGY

This study adopts a qualitative comparative analysis to assess the effectiveness of the Zero Trust Architecture approach compared to the Perimeter-Based model. For better comprehension regarding the topic, this paper will refer to major literature related to the topic, including the original work of NIST, cloud architecture, and cloud service providers like Azure and AWS, and literature related to the latest reported cyber attacks.

This assessment will concentrate on the three most important technical vectors that play a vital part in cloud security, which are Identity Verification, Network Visibility, and Threat Response. This enables the research to effectively convey the functional differences between traditional security measures and Zero Trust. On the other hand, the methodology used will take a comprehensive approach in reviewing the implementation of these technologies, particularly the process through which abstract concepts are implemented using technology, which includes micro-segmentation and enforced policies. This will enable a comprehensive view of the vulnerabilities that the cloud poses, offering a clear strategy that enables organizations to improve their security.



APPLICATION AND ANALYSIS OF ZERO TRUST

Identity as the New Control Plane

Therefore, in an environment where physical perimeters no longer apply, due to various security breaches that have occurred in a cloud computing environment, identity or identities have become the control plane. The primary approach to Zero Trust Architecture implementation remains Identity and Access Management. As compared to legacy architecture that used passwords to grant or deny network accessibility, Context Aware Access controls have been put in place for Zero Trust Architecture. Therefore, when an authorized identity tries to connect to a sensitive cloud-based database using an unknown device or originates from an uncommon location, Zero Trust Architecture will easily identify this threat and deny that identity network accessibility.

Furthermore, the integration of Single Sign-On (SSO) solutions centralizes the authentication process, reducing the attack surface associated with password fatigue. In a Zero Trust framework, identity verification is not a one-time event that occurs at the beginning of a session. Instead, it is a continuous process. The system constantly re-evaluates the user's trust score throughout the session. If the user's behavior changes - for example, if they begin downloading an unusually large volume of data - the policy engine can revoke their access token immediately. This continuous validation effectively mitigates the risk of session hijacking and credential theft, which are common vectors in cloud breaches (Microsoft Security, 2023).

Micro-segmentation and the Prevention of Lateral Movement

One of the most significant technical applications of Zero Trust in the cloud is micro-segmentation. This technique addresses the "flat network" problem inherent in many traditional cloud deployments, where workloads within the same Virtual Private Cloud (VPC) can communicate freely with one another. In such an environment, if an attacker compromises a web-facing server, they can easily pivot to backend database servers.

Micro-segmentation eliminates these issues because it subdivides the entire cloud environment into small security areas. In other words, micro-segmentation goes down to the workload or individual application deployment. It is different from traditional segmentation because it does not involve hardware but instead uses software-defined security. In other words, its policies dictate the flow of communications. For instance, a policy may state that a communicating party, say a web server, should only communicate with an application server via a particular port. It should not, in fact, communicate with anything within that environment. By employing its "default deny" principle, where communications are denied by default, an entire network of security blast walls is established. In the event that an attacked workload is infected with malware or ransomware, the attacking party is essentially contained within that particular area and cannot communicate or spread. This is an important capability for containing threats when an attack does actually happen.

Continuous Monitoring and Automated Threat Response

The effectiveness of Zero Trust relies heavily on visibility and analytics. In traditional models, security teams often struggled with "alert fatigue" and a lack of visibility into east-west traffic within the data center. Zero Trust addresses this by leveraging the advanced telemetry available in cloud environments. Cloud providers offer native tools that log every API call, network flow, and access attempt.

In an advanced level of a Zero Trust Architecture, this large volume of information is processed and analyzed by a Security Information and Event Management System, where machine learning algorithms are used for this analysis. This will create a baseline of normal behavior for each and every entity within a network. If abnormalities in this normal behavior are detected, automated "Response Playbooks" can be initiated. In such an environment, if a server begins to interact with a known "malicious IP Address," for example, this automated response and policy action within a Zero Trust Architecture will isolate this server without any specific action taken by a human. This automated action will reduce the "Dwell Time" of attackers within a network and lessen the potential overall damage incurred by an intrusion.

CONCLUSION AND DISCUSSION

The shift to cloud computing has made the existing security paradigms, like the perimeter security layers, ineffective against the emerging security threats of this era. Through this study, it is established that the "Castle-and-Moat" security paradigm is flawed when handling cloud infrastructures with a decentralized nature, where there is an absence of mitigation of risks of lateral movements and insider threats. This implicit trust security is vulnerable to data breaches due to the occurrence of a compromised credential.

The Zero Trust Architecture offers a robust and necessary strategic evolution. By shifting the focus from securing the network perimeter to securing individual resources and identities, ZTA aligns with the distributed nature of modern IT. The rigorous application of principles such as explicit verification, least privilege, and assumed breach provides a defense-in-depth strategy that is resilient against sophisticated cyber attacks. The analysis confirms that technical mechanisms like micro-segmentation and context-aware IAM are not merely optional enhancements but are essential components of a secure cloud environment.

However, implementing the concept of Zero Trust is not without its own set of problems and shortcomings. These include the need for a significant change in the culture and approach adopted by the organizations, especially regarding a transition away from convenience and toward security instead. Another major area is the need to integrate different tools and discard legacy infrastructure, which cannot afford to support newer authentication protocols either.

Further research directions include the potential for the use and impact of Artificial Intelligence for the easier management and implementation of complex policy management used in the concept of Zero Trust. Nevertheless, as the threats within the cyber world progress and grow, the best way for any IT system, including the cloud, is the adoption and utilization of the concept of Zero Trust Architecture.

REFERENCES

Cloud Security Alliance (CSA). (2022). *Zero Trust Organizational Strategy and Roadmap*.

Gilman, E., & Barth, D. (2017). *Zero Trust Networks: Building Secure Systems in Untrusted Networks*.

Microsoft Security. (2023). *Evolving Zero Trust: The 2023 State of Zero Trust Adoption Report*. Microsoft Corporation.

Palo Alto Networks. (2024). *The State of Cloud Native Security Report 2024*.

INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING THE CONDITION OF OIL RIG STRUCTURES USING PIEZOELECTRIC SENSORS

Assoc. Prof. Akif KHIDIROV

Azerbaijan State Oil and Industry University, Faculty of Information Technologies and Control, Department of Instrumentation Engineering, Baku, Azerbaijan²
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2539-286X>

Sitara SULEYMANOVA

Azerbaijan State Oil and Industry University, Faculty of Information Technologies and Control, Department of Instrumentation Engineering, Baku, Azerbaijan²
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1997-5196>

ABSTRACT

Drilling rigs are large metal structures that are subject to complex dynamic loads and environmental factors during operation. These loads and impacts cause mechanical vibrations transmitted through the structural elements. Monitoring the structural integrity and residual load-bearing capacity of drilling rigs is essential for safety and service life extension.

This article discusses an intelligent information system based on piezoelectric sensors for continuous monitoring of oil platform structures. The metrological characteristics of sensors (piezoelectric, MEMS accelerometers, and linear differential transformers (LVDTs)) used for monitoring the condition of oil platform structures were studied. A piezoelectric accelerometer was selected for detecting localized structural anomalies. When selecting a sensor, the following characteristics and operating conditions must be considered: operating frequency range and sensor sensitivity; temperature range, moisture resistance, and mechanical strength; and sensor mounting methods. IEPE (Integrated Electronic Piezoelectric) vibration accelerometers were selected for continuous monitoring of oil platform structure vibrations and detection of local anomalies.

A method for anomaly detection using an unsupervised autoencoder was developed. The autoencoder is a neural network trained to reconstruct input data. Baseline vibration data was collected for training the autoencoder under normal operating conditions, corresponding to nominal mechanical loads, the absence of visible defects, and stable vibration characteristics. To compensate for slow environmental changes, threshold parameters are adaptively updated. To provide an interpretable health indicator, a risk index takes three values: normal, warning, and high-risk.

A time-series neural network model for predicting the development of emergency situations and making decisions is proposed. To reduce the number of false alarms, a stability criterion is introduced, which is determined by the required number of consecutive windows with anomalies.

Keywords: Drilling rigs, intelligent information system, piezoelectric sensor, autoencoder

ANALYSIS OF THE SITUATION OF INTERNATIONAL FINANCIAL CENTERS IN 2020-2025 EASTERN COUNTRIES

BEYNƏLXALQ MALİYYƏ MƏRKƏZLƏRİNİN 2020-2025-Cİ İLLƏRDƏ ŞƏRQ ÖLKƏLƏRİ ÜZRƏ VƏZİYYƏTİNİN TƏHLİLİ

ƏFQAN ƏBULFAZ OĞLU MUSAYEV

Odla Yurdu University, İqtisadiyyat və iqtisadi münasibətlər kafedrası, Bakı, Azərbaycan.

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-5780-6182>

ABSTRACT.

Analysis of the status of International Financial Centers in Eastern countries in 2020-2025 helps to determine the dynamics of the development of the world economy. In the study, the comparative analysis of the leading IFCs of the USA and Europe with the Leading IFCs of East Asian countries, and the study of the results of the competition dynamics led to the emergence of effectiveness. The studies I conducted based on regional analyses revealed that the state of the financial sector of Azerbaijan was also stable in 2020-2025. The steps taken by the Central Bank within the framework of the roadmap on "Sustainable Finance" affect the increase in digital payments and the development of the banking sector. Strengthening the potential of Baku as a regional financial center was identified as the main factor.

The study used the methodology for assessing the impact of the analysis of the status of the International Financial Centers of the Eastern countries on financial markets for 2020-2025. As a result, it was suggested that the adaptation of the Singapore "Regulatory Sandbox" model to the financial ecosystem of Azerbaijan would be very promising in terms of both innovation and risk management.

Keywords: FinTex, innovation, index, stability, trends, sustainability, sandbox, ecosystem.

XÜLASƏ; Şərq ölkələri üzrə Beynəlxalq Maliyyə Mərkəzlərinin 2020-2025-ci illərdə vəziyyətinin təhlili dünya iqtisadiyyatının inkişaf dinamikasını müəyyənləşdirməyə yardım edir. Tədqiqatda ABŞ və Avropanın lider BMM-lərinin Şərqi Asiya ölkələrinin Lider BMM-ləri ilə müqayisəli təhlili, rəqabət dinamikasının nəticələrinin öyrənilməsi effektivliyin ortaya çıxarılmasına səbəb olmuşdur. Regional təhlillər əsasında apardığım tədqiqatlar Azərbaycanın maliyyə sektorunun da vəziyyətinin 2020- 2025-ci illər ərzində sabitlik illəri olduğu ortaya çıxarmışdır. Mərkəzi Bankın "Dayanıqlı maliyyə" üzrə yol xəritəsi çərçivəsində atdığı addımlar, rəqəmsal ödənişlərin artması və bank sektorunun inkişafına təsir edir. Bakının regional maliyyə mərkəzi kimi potensialının gücləndirilməsi əsas amil kimi ortaya atılmışdır.

Tədqiqatda şərq ölkələri Beynəlxalq Maliyyə Mərkəzlərinin 2020-2025-ci illər üzrə vəziyyətinin təhlilinin maliyyə bazarlarına təsirin qiymətləndirilməsi metodologiyasından istifadə edilmişdir. Nəticə olaraq, Sinqapurun "Regulatory Sandbox" modelinin Azərbaycanın maliyyə ekosisteminə adaptasiyası həm innovasiya, həm də risklərin idarə edilməsi baxımından çox perspektivli olacağı təklif edilmişdir.

Açar sözlər: FinTex, innovasiya, indeks, sabitlik, trendlər, dayanıqlıq, sandbox, ekosistem.

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya iqtisadiyyatında əhəmiyyətli yerə malik olan beynəlxalq maliyyə mərkəzlərinin son illərdə vəziyyəti qlobal iqtisadiyyatlarda rəqabətin artması, Fintech kimi texnoloji innovasiyaların və dayanıqlı maliyyə prinsiplərinin daha çox önə çıxması ilə xarakterizə olunur. Global Maliyyə Mərkəzləri İndexinin Global Financial Centres Index (GFCI 37 və 38) hesabatlarına əsasən, (1), (2) cari ilin mənzərəsi belə bir fikrə gəlməmişə əsas verir ki, son illərin dünyada ən nüfuzlu maliyyə mərkəzləri siyahısında nisbi sabitlik müşahidə olunsada, indeks göstəriciləri aşağı düşüb. İlk yer uğrunda mübarizə aparan Nyu-York və London GMM-ləri rəqabətli mübarizələrini davam etdirməkdədirlər. Cədvəl 1-ə nəzər salsaq bunun əyani şahidi olmuş olarıq.

Cədvəl N-1

Reytinq	BMM	Region	Qeydlər
1	Nyu-York	Şimali Amerika	Liderliyini qoruyur, lakin artım tempində yavaşlama var.
2	London	Qərbi Avropa	Nyu-York ilə xal fərqi minimuma endirib.
3	Hon-konq	Asiya-Sakit Okean	Sinqapur qabaqlayaraq Asiyanın bir nömrəli mərkəzi olub.
4	Sinqapur	Asiya-Sakit Okean	Honkonq ilə gərgin rəqabətdədir.
5	San-Fransisko	Şimali Amerika	Fintech və texnoloji maliyyə sahəsində mərkəzdir
6-10	Çikaqo, Los-Anceles, Şanxay, Şenzen, Seul	Qarışıq	Seul yenidən ilk onluğa qayıdıb.

Cədvəl müəllif tərəfindən hazırlanıb.

Qeyd etməliyəm ki, pandemiya illəri Şərq ölkələrinin inkişafına fərqli təsir etmişdir. COVID-19 Pandemiyası ABŞ və İngiltərənin maliyyə mərkəzlərinin dirçəlməsi ilə müşahidə olunmaqdadır. Globalist Çin, Avropa və ABŞ maliyyə dairələrinin daha çox təmsil edildiyi Sinqapur BMM ilə İngiltərənin təsir dairəsində olan Hon-Konq BMM- arasında da gərgin rəqabət hiss edilməkdədir. Bu istiqamətdə Çin kapitalının Sinqapurdan Çinin daxili Beynəlxalq və Regional maliyyə mərkəzlərinə “axıdılması” hiss edilməkdədir. Bu səbəbdəndir ki, Hon-Konqla bərabər Şanxay, BMM və Şenzen BMM ilk onluğa daxil ola bilmişlər.

BMM-lərinin son illər üzrə əsas trendləri FinTexin maliyyə sektorunda Dominantlığı, Yaşıl iqtisadiyyatın maliyyə sektoruna tətbiqi, Süni intellektin Maliyyə İnstitutlarında tətbiqi və regional İqtisadiyyata Maliyyə dəstəyi istiqamətində genişlənməsi ilə yadda qalmasıdır.

Şərq ölkələri üzrə Beynəlxalq Maliyyə Mərkəzlərinin (BMM) 2020-2025ci illərdə vəziyyətinin təhlili nəticəsində Cənub və Cənub Şərqi Asiya ölkələrinin də daxil olduğu Asiya və Sakit okean Regionunun 20 BMM-dən 6-sının dünya üzrə top 20-liyə daxil olduğunu müşahidə etmiş oluruq. Honkonq BMM "biznes mühiti" və "infrastruktur" üzrə dünya birincisi olması regionun gücünü artırır. Baxmayaraq ki, ABŞ təsir dairəsində olan Nyu-York və San-Fransisko BMM-ləri Şimali Amerika regionunda liderdirlər, lakin digər regionlarla müqayisədə etibarın artım tempi ən aşağı səviyyədə- 1.41% bu regionda qeydə alınıb. (1, 2) (GFCI 37,38- 2025)

Astana BMM-nin dayanıqlı inkişafı nəticəsində Mərkəzi Asiya və Şərqi Avropa regionunda liderliyinin qorunması tərəfimdən bir neçə il öncə proqnozlaşdırılmışdı. (3) (Ə.Musayev.)

Təhlillər bu region üzrə orta reyting artımının 2.48%-ilə global səviyyədə ən yüksək göstəricilərdən biri olduğunu deməyə əsas verir. Burada Çinin Bir kəmərlər bir yol layihəsinin böyük təsiri var. (4) ((Ə.Musayev.)

Regional təhlillər əsasında apardığım tədqiqatlar Azərbaycanın maliyyə sektorunun da vəziyyətinin 2020- 2025-ci illər ərzində sabitlik illəri olduğu fikrindəyəm. Mərkəzi Bankın "Dayanıqlı maliyyə" üzrə yol xəritəsi çərçivəsində atdığı addımlar, rəqəmsal ödənişlərin artması və bank sektorunun (məsələn, ABB, PAŞA Bank kimi qurumların mənfəətliliyinin artması) canlanması Bakının regional maliyyə mərkəzi kimi potensialını gücləndirə bilən amillərdən ola bilər. (5) (<https://cbar.az/page-812/dayaniqli-maliyy-uzr-yol-xritsi>). Dayanıqlı Maliyyə üzrə Yol Xəritəsi).

Qeyd etməliyəm ki, 2020-2025-ci illər maliyyə mərkəzlərinin yalnız kapital axını üçün deyil, həm də texnoloji innovasiyalar və yaşıl iqtisadiyyat üçün rəqabət apardığı bir dövr hesab oluna bilər.

KONSEPTUAL ÇƏRÇİVƏ (CONCEPTUAL FRAMEWORK)

Dünya üzrə tərtib edilən Beynəlxalq Maliyyə Mərkəzləri İndeksi (GFCI) hesabatları global iqtisadiyyatın ağırlıq mərkəzinin Qərbdən Şərqə doğru hərəkətini ən aydın əks etdirən göstəricilərdən biridir. 2020-2025-ci illər aralığında Şərq ölkələrinin, xüsusən də Asiya-Sakit Okean və Yaxın Şərq region ölkələrinin və bu regionlardakı Beynəlxalq Maliyyə Mərkəzlərinin həm reyting, həm də nüfuz baxımından əhəmiyyətli transformasiyasını müşahidə edirik.

Qeyd etdiyim bu dövr ərzində BMM-nin inkişaf tendensiylərini, milli iqtisadiyyatlara və maliyyə bazarlarına təsirinin təhlil edərək qiymətləndirmək istədim. Bu dövrü iki əsas mərhələyə bölsək daha aydın ola bilər: 1) Daha əvvəl qeyd etdiyim kimi COVID-19 Pandemiyası dövrü (2020-2022) və 2) Pandemiyadan sonrakı- Post Pandemiya dövrü. Bu dövrü bərpa və Rəqəmsal Transformasiya dövrü (2023-2025) də adlandırıla bilər.

Asiya-Sakit Okean Regionunda Dominantlıq Sinqapur BMM və Honq-Konq BMM-lərinə məxsusdur. 2020-ci ildə Honq Konq siyasi qeyri-sabitlik səbəbindən reytingdə geriləyə də, 2024-2025-ci illərdə yenidən toparlanaraq global miqyasda 3-cü yerə yüksəlmişdir. Sinqapur isə stabil tənzimləmə mühiti ilə "Asiyanın ən yaxşı maliyyə mərkəzi" statusu üçün Honq Konqla dayanıqlı və davamlı rəqabət aparmaqdadır.(6) Bu rəqabət Çinin daxilində iqtisadi diversifikasiyanı təmin edən və iqtisadi yüksəliş rəhbərlik edən Beynəlxalq və regional Maliyyə Mərkəzlərinin inkişafını dəstəkləmişdir. Artıq Şanxay, Şenjen və Pekin ardıcıl olaraq ilk 10-luqda qərarlaşıb. Xüsusilə Şenjen Fintech -maliyyə texnologiyaları sahəsində dünyanın aparıcı mərkəzlərindən birinə çevrilmişdir.

Bu inkişafa Şərqi Asiyanın - Cənubi Koreyanın Seul BMM-i də qoşulmuşdur. Seul da 2025-ci ilə qədər olan hesabatlarda davamlı yüksəliş nümayiş etdirərək global TOP 10-luğa daxil olmuşdur. Şərqi Asiya və Cənub Şərqi Asiya BMM-ləri rəqəmsal texnologiyaların, xüsusilə də süni İntellektin tətbiqi ilə fərqlənməkdədirlər.

Şərq ölkələri Beynəlxalq Maliyyə Mərkəzlərinin 2020-2025ci illər üzrə vəziyyətinin təhlili sahəsində Yaxın Şərq ölkələrinin təhlili də əhəmiyyətlidir. İqtisadi və statistik göstəricilər baxımından Dubay (DIFC) və Əbu-Dabi (ADGM) Beynəlxalq Maliyyə Mərkəzləri regionun mütləq liderləri hesab oluna bilər. 2025-ci il GFCI 37/38 hesabatlarına əsasən Dubay global reytingdə 11-12-ci yerlərə qədər yüksəlib.(1, 2)

Səudiyyə Ərəbistanının paytaxtı Riyad BMM "Vision 2030" çərçivəsində 2024-2025-ci illərdə ən böyük sıçrayış edən mərkəzlərdən biri olaraq GFCİ reytingində 20-dən çox pillə irəliləyib.

(1,2) (2024++)

METODOLOGİYA

Şərq ölkələri Beynəlxalq Maliyyə Mərkəzlərinin 2020-2025ci illər üzrə vəziyyətinin təhlilinin maliyyə bazarlarına təsirin qiymətləndirilməsi metodologiyasından istifadə etmişəm.

1. Şərq ölkələrinin GFCI-da möhkəmlənməsi qlobal maliyyə arxitekturasına təsirlərini tədqiq edərək, fintech və innovativlik öyrənilmişdir. Bu BMM-nin İnnovativ Liderliyi diqqət cəkəndir. Şərq ölkələrinin BMM-ləri ənənəvi bankçılıqdan daha çox Fintech-ə investisiya qoyurlar. GFCI-nin Fintech reytingində Honq Konq və Şenjen tez-tez Nyu-Yorku üstələdiyini müşahidə etmiş oluruq. Bu, qlobal ödəniş sistemlərinin və blokçeyn texnologiyalarının inkişaf sürətini Şərqi doğru yönəldir.

2. Kapital hərəkətiliyinin diversifikasiyasının təhlili göstərir ki, əvvəllər investisiyalar əsasən London və Nyu-York BMM-ləri vasitəsilə idarə olunurdusa, 2020-2025-ci illərdə kapitalın böyük hissəsi Sinqapur, Dubay və Şanxay BMM-ləri vasitəsi ilə şərq ölkələrinin birjalarına yönəlib. Bu, qlobal likvidliyin daha balanslı paylanmasına səbəb olduğunun göstəricisidir. Sinqapur BMM-də "Regulatory Sandbox" Modeli tətbiq Olunmaqdadır. (7) "Sandbox" -Qum Qutusu anlamındadır. Bu, maliyyə texnologiyaları -FinTech şirkətlərinə öz innovativ məhsullarını məhdud sayda real müştəri üzərində, lakin yüngülləşdirilmiş tənzimləmə qaydaları ilə sınaqdan keçirməyə imkan verən xüsusi rejimdir. Sinqapur BMM-də "Sandbox Express" modelini tətbiq edərək, aşağı riskli innovasiyalar üçün təsdiq prosesini cəmi 21 günə endirilmişdir.

3. Standartların tənzimləyici institutlarının dəyişməsi fenomenidir. BƏƏ və Sinqapur kimi Şərq ölkələri daha çevik və rəqəmsal dostu qanunvericilik tətbiq etməkdədir. Avropa İttifaqı və ABŞ bu rəqabətdə qalmaq üçün öz maliyyə qaydalarını yumşaltmağa və rəqəmsallaşdırmağa məcbur ola bilər.

4. Regionlar üzrə dinamik təhlil cədvəlini təqdim edirəm.

Cədvəl N-2

region	2020-ci il vəziyyəti	2025-ci il vəziyyəti	Fərqlilik səbəbi
1.Şərqi Asiya	Qeyri-sabit Hok Konqun geriləməsi	Qlobal liderliyə yüksəlməsi	FinTex və daxili bazar gücü
2.. Yaxın Şərq	Regional mərkəz	Qlobal HUB	Enerji gəlirləri diversifikasiyası
3. Mərkəzi Asiya	inkişafda	Astana (AIFC)	Hüquqi islahatlar.

NƏTİCƏ VƏ MÜZAKİRƏ

2025-ci ilə doğru Şərq ölkələri artıq yalnız "istehsal mərkəzi" deyil, həm də dünyanın "beyin və maliyyə mərkəzi" statusunu qazanıblar. Bu, maliyyə bazarlarında dollar asılılığının azalmasına -dedollarizasiya meyillərinə və alternativ maliyyə instrumentlərinin -məsələn, İslam maliyyəsi və rəqəmsal aktivlərin artmasına gətirib çıxarır.

Sinqapurun "Regulatory Sandbox" (Tənzimləmə Qum Qutusu) modelinin Azərbaycanın maliyyə ekosisteminə adaptasiyası həm innovasiya, həm də risklərin idarə edilməsi

baxımından çox perspektivli ola bilər. Azərbaycanda bu model aşağıdakı istiqamətlərdə tətbiq edilə bilər:

- 1) *Açıq Bankçılıqda (Open Banking): Üçüncü tərəf provayderlərin bank datasına təhlükəsiz çıxışının sınağı.*
- 2) *Blockchain və Kripto-aktivlərdə: Rəqəmsal aktivlərin ödənişlərdə və ya aktivlərin tokenləşdirilməsində (məsələn, daşınmaz əmlakın hissəli satışı) tətbiqi.*
- 3) *Sığorta Texnologiyaları sahəsində (InsurTech): Süni intellekt əsaslı anlıq sığorta polislərinin qiymətləndirilməsi.*
- 4) *Sinqapurda olduğu kimi, "Sandbox" daxilində olan şirkətlər üçün müəyyən kapital tələbləri və hesabatlılıq qaydaları müvəqqəti olaraq yumşaldılmalıdır. Bu, kiçik startapların böyük banklarla rəqabət aparmasına şərait yaradır.*
- 5) *Azərbaycan bu "Sandbox" modelini Türk Dövlətləri Təşkilatı çərçivəsində regional bir mərkəzə çevirə bilər. Beləliklə, Orta Asiya startapları öz məhsullarını Bakı üzərindən global bazara çıxara bilərlər.*

Ədəbiyyat (REFERENCES)

1. <https://www.longfinance.net/programmes/financial-centre-futures/global-financial-centres-index/gfci-37-explore-the-data/gfci-37-rank/>
2. https://www.longfinance.net/media/documents/GFCI_38_Report_2025.09.25_v1.0.pdf
3. A.A.Musayev. «Аспекты формирования международных и региональных финансовых центров в восточных странах», Журнал Социально-политические науки, №1, стр.11-113, издательский дом Юр-БАК, Москва, РФ. 2015г. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=tr&user=CiLqBd0AAAAJ&pagesize=80&citation_for_view=CiLqBd0AAAAJ:d1gkVwhDpl0C
4. А.А.Мусаев, «Подписание рамочного соглашения между странами Среднего коридора – важный фактор укрепления экономического сотрудничества», Минск : Колорград, 2024, ISBN 978-985-896-756-7, стр.451(286) https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=tr&user=CiLqBd0AAAAJ&pagesize=80&citation_for_view=CiLqBd0AAAAJ:ULOm3_A8WrAC
5. <https://cbar.az/page-812/dayaniqli-maliyy-uzr-yol-xritsi> . Mərkəz Bankın **Dayanıqlı Maliyyə üzrə Yol Xəritəsi**
6. A.A.Musayev. 2.Ulviyya Nadir Ismayilova 3.Sevinj Imamyar Mammadova “Evaluation of the political-economic development of the countries based on the analysis of the developmental dynamics of the Global Financial Centers in East Asian countries”, 2024 International Conference on Smart Environment and Green Technologies – ICSEGT 2024. Springer.
7. Dayanıqlı Maliyyə üzrə Yol Xəritəsi.(2023-2026) <https://cbar.az/page-812/dayaniqli-maliyy-uzr-yol-xritsi>

FEMINISM IN HISTORY AND LITERATURE: FROM LEGAL EMANCIPATION TO THE PROBLEM OF IDENTITY

Mehriban ALIYEVA

Azerbaijan University of Languages, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-9559-7734>

ABSTRACT

This article provides a comprehensive analysis of feminism as a socio-political and cultural movement, as well as a methodology for literary analysis. It focuses on the historical stages of feminist thought, the characteristics of feminist literary criticism and gynocriticism, and the representation of women's experience in modernist literature. Using the works of Virginia Woolf and Doris Lessing, the article examines the transformation of female subjectivity and the search for artistic autonomy. Particular attention is paid to the differences in the historical trajectories of women's emancipation in Western, Soviet, and Asian contexts. The conclusion offers an interpretation of feminism as an ongoing process of cultural and intellectual work aimed at expanding the boundaries of human consciousness.

Keywords: feminism, gynocriticism, female identity, modernism, gender.

INTRODUCTION

Feminism is one of the most influential intellectual and socio-political movements of modern and contemporary history. Its significance is determined not only by the struggle for formal equality of rights for women and men, but also by a profound rethinking of cultural norms, social roles, and modes of representing subjective experience. In scholarly discourse, feminism is considered an interdisciplinary field encompassing philosophy, sociology, history, cultural studies, and literary criticism.

The purpose of this article is to trace the evolution of feminist thought from early forms of legal struggle to more complex issues of identity and artistic expression, and to demonstrate how these processes are reflected in 20th-century literature. The objectives of this study include an analysis of the historical "waves" of feminism, a consideration of the theoretical foundations of feminist literary criticism and gynocritique, and an interpretation of key modernist texts in which female experience becomes a central artistic category.

CONCEPTUAL FRAMEWORK

Historical Stages in the Development of Feminism

In Western intellectual tradition, the history of feminism is often structured through the concept of "waves," each of which reflects a distinct stage in the understanding of women's position in society (Walters, 2005; Kinnaird, 1983). The first wave of feminism, spanning the nineteenth and early twentieth centuries, focused primarily on legal inequality. Its main

demands included access to education, property rights, and women's suffrage. The activities of suffragists in the United Kingdom and the United States became emblematic of this period, demonstrating that women were capable of acting as a collective political subject (Gilmore, 2004).

The second wave of feminism, which developed during the 1960s–1980s, significantly expanded the scope of feminist inquiry. Central concerns included reproductive rights, sexuality, domestic labor, and the cultural mechanisms through which gender stereotypes are reproduced. It was during this period that the slogan “the personal is political” gained prominence, emphasizing that women's private lives are inseparable from broader structures of social power (Teele, 2025).

The third and subsequent waves of feminism shifted attention toward the plurality of women's experiences, highlighting differences related to race, class, culture, and national identity. As a result, feminism gradually evolved from a movement primarily concerned with formal equality into a complex analytical framework aimed at deconstructing universalist notions of “woman” as a homogeneous category (Evans, 2025).

Feminist Literary Criticism and Gynocriticism

An important stage in the institutionalization of feminism within the humanities was the emergence of feminist literary criticism. One of the key theorists in this field is Elaine Showalter, who proposed distinguishing between two analytical approaches: “woman as reader” and “woman as writer” (Newton, 1997).

The “woman as reader” approach focuses on the analysis of representations of female characters in literature written by men. Within this framework, scholars examine persistent stereotypes, binary oppositions, and ideological constructs that shape femininity as something secondary and subordinate (Bheemappa, 2023).

Gynocriticism, by contrast, aims to establish an autonomous theoretical framework for the analysis of literature written by women. Showalter emphasizes the necessity of moving beyond exclusively male literary canons and interpretative models, proposing instead that women's writing be understood as a distinct literary tradition. In this context, she identifies three phases in the development of women's literature—the feminine, the feminist, and the female—each of which reflects a particular stage in the awareness and expression of female subjectivity (Bheemappa, 2023).

Theoretical Foundations of Feminist Thought: From Simone de Beauvoir to Judith Butler

The formation of feminist theory as an independent philosophical and cultural framework is closely associated with the work of Simone de Beauvoir. In *The Second Sex*, de Beauvoir formulates her seminal thesis: “one is not born, but rather becomes, a woman” (Beauvoir, 1949/2011). This statement challenges biological determinism and lays the groundwork for understanding gender as a socially and culturally constructed category. According to de Beauvoir, woman is constituted as the “Other” in relation to man, who functions as the universal and normative subject of culture. This asymmetrical relationship is reinforced through language, myths, religion, education, and artistic forms (de Beauvoir, 19489).

An important implication of this conceptual framework is de Beauvoir's critique of immanence, the condition to which women have historically been confined. Domestic labor, motherhood, and emotional caregiving are interpreted as mechanisms that restrict women's access to transcendence—that is, the active capacity to move beyond socially prescribed roles.

In this way, de Beauvoir establishes a foundational perspective for subsequent feminist scholarship focused on power relations, subjectivity, and embodiment (de Beauvoir, 1949).

In the second half of the twentieth century, feminist theory underwent a significant transformation influenced by poststructuralism and postmodern philosophy. One of the central figures of this period is Judith Butler (1990). In *Gender Trouble*, Butler critically interrogates the notion of stable gender identity by introducing the concept of gender performativity. According to Butler, gender is not an inner essence of the subject but is constituted through repeated social practices, discursive acts, and embodied gestures (Butler, 1986).

Thus, while de Beauvoir emphasizes the social process of becoming a woman within the binary framework of “man–woman,” Butler radically problematizes this very binary, exposing its normative and exclusionary character. The shift from de Beauvoir’s existentialist feminism to Butler’s poststructuralist approach reflects a broader reorientation in feminist theory—from the struggle for universal rights toward the analysis of discourse, identity, and mechanisms of exclusion (Butler, 1986).

METHODOLOGY

Women’s Writing and the Aesthetics of Modernism

Literary modernism became a cultural space in which feminist ideas found a particularly productive artistic expression. The rejection of linear narrative, the focus on characters’ inner lives, and formal experimentation enabled women writers to articulate the complexity of female experience that had previously been marginalized in literary tradition. Virginia Woolf occupies a central position within this context (Woolf, 1927/2005).

Virginia Woolf’s *To the Lighthouse* as a Model of Feminist Modernist Writing

In *To the Lighthouse*, Woolf dismantles conventional narrative structures, creating a text in which the inner experiences of characters take precedence over external action (Woolf, 1927/2005). Through the use of fragmentation, parenthetical constructions, and streams of consciousness, Woolf explores themes of memory, loss, and the transformation of familial and gender relations amid the decline of the Victorian value system. The figure of Mrs. Ramsay plays a central role in the novel, embodying a traditional ideal of femininity grounded in care, emotional support, and self-sacrifice. On the one hand, this character may be interpreted as reproducing patriarchal norms; on the other, Woolf endows Mrs. Ramsay with psychological depth and symbolic power, positioning her as the emotional core of the text (Woolf, V., 1927/1992).

Following Mrs. Ramsay’s death, the novel’s spatial and temporal organization undergoes a radical transformation. Temporal rupture and silence emphasize the fragility of social bonds and the contingency of gender roles. In this context, the figure of Lily Briscoe acquires particular significance. As an artist who rejects marriage and motherhood as obligatory modes of female self-realization, Lily symbolizes the emergence of a new form of female subjectivity. Her artistic struggle functions as a metaphor for the search for an autonomous language and form, free from male authority and normative expectations (Woolf, V., 1927/1992).

The final act of completing Lily Briscoe’s painting may be read as an affirmation of the possibility of female artistic expression. Although this moment is not triumphant in a conventional sense, it marks an internal act of self-recognition and a fleeting equilibrium, consistent with the modernist conception of subjective truth. Thus, *To the Lighthouse*

demonstrates how the aesthetic experiments of modernism become instruments for a feminist rethinking of identity, memory, and creativity (Woolf, V.,1927/1992).

Doris Lessing and the Problem of Fragmented Identity

Doris Lessing's novel *The Golden Notebook* stands as one of the most significant works of twentieth-century feminist literature (Lessing, 1962). Its complex narrative structure mirrors the internal fragmentation of the protagonist, who struggles to reconcile personal experience, political commitment, and creative practice. The representation of the "free women" in the novel exposes a central paradox of feminist emancipation: formal independence does not necessarily result in psychological or existential wholeness.

Lessing demonstrates that female identity is constructed within a field of tension shaped by ideological convictions, emotional dependency, and persistent social expectations. In this sense, *The Golden Notebook* functions not only as a literary text but also as a mode of philosophical reflection on the limits of freedom, revealing the psychological costs of ideological absolutism and the difficulty of achieving an integrated self under conditions of modernity (Lessing, 1962).

Historical and Cultural Contexts of Women's Emancipation

The historical trajectory of feminism has varied significantly depending on specific socio-political conditions. In the Soviet Union, gender equality was proclaimed at the state level; however, it was often framed as a means of economic mobilization rather than as a purely emancipatory project. Women were primarily positioned as labor resources, while traditional gender roles largely persisted within the private sphere.

In many Asian countries, feminist ideas developed in close connection with national liberation movements, where the struggle for women's rights was intertwined with anti-colonial discourse. This historical configuration underscores the impossibility of a universalized narrative of feminism and highlights the necessity of situating feminist theory within its local cultural and political contexts (Zalkind,1990).

CONCLUSION

Feminism, as both a historical and intellectual movement, constitutes an ongoing process of reinterpreting social and cultural structures. Doris Lessing's metaphor of the "pushers of the boulder" provides a powerful framework for understanding feminist activity as a form of sustained labor aimed at expanding the boundaries of human consciousness. Despite significant political and cultural achievements, feminism remains a vital field of inquiry, requiring continued theoretical reflection and artistic exploration.

REFERENCES

- Beauvoir, S. de. (1949/2011). *The second sex* (C. Borde & S. Malovany-Chevallier, Trans.). Vintage Books. (Original work published 1949)
- Bheemappa, M. P. (2023). Feminist critique and psychodynamic concepts with special reference to Elaine Showalter's "Towards a feminist poetics": A preview. *Journal for ReAttach Therapy and Developmental Diversities*, 6(9S), 2052–2054. <https://doi.org/10.53555/jrtdd.v6i9s.3085>
- Butler, J. (1986). Sex and gender in Simone de Beauvoir's *The second sex*. *Yale French Studies*, (72), 35–49.
- Evans, E. (2015). *The politics of third wave feminisms: Neoliberalism, intersectionality, and the state in Britain and the US*. Palgrave Macmillan.

- Gilmore, S. (2004). No turning back: The history of feminism and the future of women, and *Tidal wave: How women changed America at century's end*, and *Feminism in the heartland* (Review). *NWSA Journal*, 16(2), 190–196. <https://doi.org/10.1353/nwsa.2004.0054>
- Kinnaird, J. (1983). Mary Astell: Inspired by ideas (1668–1731). In D. Spender (Ed.), *Feminist theorists: Three centuries of key women thinkers* (p. 29). Pantheon Books.
- Lessing, D. (1962/2007). *The golden notebook*. Harper Perennial Modern Classics.
- Newton, K. M. (1997). Elaine Showalter: “Towards a feminist poetics.” In K. M. Newton (Ed.), *Twentieth-century literary theory* (pp. 216–220). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-1-349-25934-2_43
- Teele, D. L. (2025). Women’s suffrage: Causes and consequences. *Annual Review of Political Science*, 28, 477–497. <https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-033123-125642>
- Walters, M. (2005). *Feminism: A very short introduction*. Oxford University Press.
- Woolf, V. (1927/2000). *To the lighthouse* (Annotated ed.). Penguin Classics. (Original work published 1927)
- Zalkind, A. B. (1990). Twelve gender commands of the revolutionary proletariat. In *Philosophy of love* (Vol. 2, pp. 224–255). Politizdat. (Original work published in Russian as *Dvenadtsat' polovykh zapovedey revolyutsionnogo proletariata*)

THE CONCEPT OF VISUAL INTEGRITY IN VISUAL ART

Siddiqe HACIYEVA

Nakhchivan State University, Faculty of Arts, Department of Fine arts, Nakhchivan
Autonomous Republic, Republic of Azerbaijan
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-7760-1005>

ABSTRACT

Introduction and Objective: Fine arts represent a fundamental field through which humans express their thoughts and aesthetic taste visually. Each artwork is not limited to the depiction of individual images; its primary value lies in the harmonious combination of colors, lines, forms, and compositional elements, which constitutes visual integrity. The concept of visual integrity determines the effectiveness of the emotional and aesthetic impact of an artwork on the viewer and reflects both its technical and aesthetic value. In this regard, visual integrity is one of the key criteria for assessing the harmonious structure of a work of art. The objective of this summary is to examine the concept of visual integrity in fine arts, demonstrate its influence on the overall impact of an artwork through composition and color harmony, and concisely present the main principles that ensure visual cohesion.

Materials and Methods: The study utilized artworks from various periods and styles as primary materials. These works included pieces by classical and contemporary artists, covering different genres and techniques such as portrait, landscape, abstract compositions, watercolor, and oil painting. Additionally, theoretical literature, art criticism articles, and academic studies on fine arts were employed as research materials.

The following methods were applied in the research:

1. Visual analysis – examining the harmony of colors, the structure of lines and forms, the arrangement of compositional elements, and the emergence of visual integrity in the selected artworks.
2. Comparative analysis – comparing artworks from different periods and styles in terms of visual integrity.
3. Theoretical analysis – explaining the concept and principles of visual integrity based on art criticism literature and scholarly sources in fine arts.
4. Systematization and generalization – organizing the main principles of visual integrity and the complementary relationships among compositional elements based on observations.

This methodology covers both theoretical and practical aspects, allowing for a comprehensive analysis of the problem of visual integrity in fine arts.

Discussion: Visual integrity in fine arts constitutes the foundation of the emotional and aesthetic impression an artwork conveys to the viewer. The analysis indicates that color harmony, the placement of lines and forms, the selection of the compositional center, and the interrelation of elements play a central role in creating visual integrity. Comparison of works from different periods and styles demonstrates that, despite variations in technique and means of expression, the principles of visual integrity remain consistent. Visual analysis shows that balance, rhythm, symmetry, contrast, and the harmonious alignment of forms are fundamental

elements ensuring aesthetic cohesion. Moreover, the artist's personal style and creative approach significantly influence the perception of visual integrity.

Conclusion: The study reveals that visual integrity is a crucial condition for both the visual and emotional impact of artworks. The harmonious arrangement of compositional elements and color relationships ensures the unity of the piece. Works from different periods and styles demonstrate that the principles of visual integrity remain unchanged, while the means of expression may vary. Thus, attention to visual integrity enhances both the artist's creative skills and the viewer's aesthetic experience.

Keywords: fine arts, visual integrity, artistic structure, composition, aesthetic perception, color relationships, visual harmony

THE PROBLEM OF COMPOSITION AND AESTHETIC INTEGRITY IN PAINTING

Assoc. Prof. Cavid İSMAYILOV

Nakhchivan State University, Faculty of Arts, Department of Fine arts, Nakhchivan

Autonomous Republic, Republic of Azerbaijan

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-8493-8999>

ABSTRACT

Introduction and Objective: Painting is an important field of art that visually expresses human aesthetic taste and creative ability. Each painting is not limited to the depiction of individual images; its main value lies in the harmonious combination of images, colors, and lines, creating aesthetic integrity. Composition serves as a primary means of establishing this harmony and generating the desired emotional effect on the viewer. In this regard, the problem of composition and aesthetic integrity in painting reflects both the technical skill of the artist and their visual thinking. The objective of this summary is to examine the importance of composition and aesthetic integrity in painting, to demonstrate their influence on the overall impact of the artwork, and to concisely present the main principles that ensure the harmonious structure of an art piece.

Materials and Methods: The primary materials for the study included paintings from different periods and styles. These works encompassed the works of both classical and contemporary artists, as well as various genres and techniques (portrait, landscape, composition pieces, watercolor, oil painting, etc.). Additionally, theoretical literature on painting, art criticism articles, and academic studies were used as materials.

The following methods were employed in the research:

1. Visual analysis – a detailed examination of compositional elements, color harmony, line, and form structure in the selected paintings.
2. Comparative analysis – a comparison of paintings from different periods and styles regarding composition and aesthetic integrity.
3. Theoretical analysis – an explanation of the principles of composition and the essence of aesthetic integrity based on art criticism literature and scientific sources on painting.
4. Systematization and generalization – the main principles ensuring harmonic structure and aesthetic integrity in paintings were systematized based on the observations.

This methodology covers both theoretical and practical aspects, allowing for an accurate analysis of the problem of composition and aesthetic integrity in paintings.

Discussion and Conclusion: The problem of composition and aesthetic integrity in paintings forms the foundation of the artwork's visual impact. The analysis shows that color harmony, the arrangement of lines and forms, and the placement of the compositional center guide the viewer's attention and create an emotional impression. A comparison of classical and contemporary artworks indicates that, despite differences in technique and style, the principles of composition and criteria for aesthetic integrity remain consistent. Visual analysis of the works demonstrates that elements such as balance, rhythm, symmetry, and contrast play a key

role in forming aesthetic integrity. Additionally, the artist's personal style and creative approach also influence the composition structure and the sense of unity in the artwork.

The study concludes that composition and aesthetic integrity are essential conditions for the visual and emotional impact of a painting. The proper arrangement of compositional elements and the maintenance of color harmony ensure the artwork's unity. Works from different periods and styles indicate that the principles of aesthetic integrity remain unchanged, while the means of expression vary. Thus, attention to composition and aesthetic integrity in painting enriches both the artist's creative skills and the viewer's aesthetic experience.

Keywords: painting, composition, aesthetic integrity, artistic structure, visual harmony, color and form.

ISSUES OF INCREASING AND REGULATING THE LEVEL OF EMPLOYMENT IN THE CONDITIONS OF NEW ECONOMIC REALITIES

YENİ İQTİSADİ REALLIQLAR ŞƏRAİTİNDƏ MƏŞĞULLUQ SƏVİYYƏSİNİN YÜKSƏLDİLMƏSİ VƏ TƏNZİMLƏNMƏSİ MƏSƏLƏLƏRİ

Assoc.Prof.Dr. Javadkhan QASIMOV

Nakhchivan State University, Faculty of Economics and Management, Department of
International Trade and Management, Nakhchivan Autonomous Republic, Republic of
Azerbaijan

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3826-033X>

JAFAROVA Narmin Tavakkul gizi

Nakhchivan State University, Faculty of Economics and Management, Business Organization
and Management (Banking) specialty, Nakhchivan Autonomous Republic, Republic of
Azerbaijan

XÜLASƏ

Qloballaşma, rəqəmsallaşma, texnoloji innovasiyalar və istehsal münasibətlərində baş verən sürətli dəyişikliklər müasir dövrdə yeni iqtisadi reallıqları formalaşdırmışdır. Bu reallıqlar əmək bazarının strukturuna, məşğulluq formalarına və işçi qüvvəsinə olan tələbatın xarakterinə ciddi təsir göstərir. Ənənəvi məşğulluq modellərinin transformasiyaya uğraması, bəzi peşə və sahələrdə iş yerlərinin azalması, eyni zamanda yeni sahələrdə məşğulluq imkanlarının yaranması məşğulluq siyasətinin yenidən nəzərdən keçirilməsini zəruri edir.

Təqdim olunan işdə yeni iqtisadi reallıqlar şəraitində məşğulluq səviyyəsinin yüksəldilməsi məsələləri kompleks şəkildə araşdırılmışdır. Araşdırmada yeni iqtisadi reallıqların mahiyyəti açıqlanmış, onların əmək bazarına təsir mexanizmləri təhlil olunmuşdur. Məşğulluğun sosial-iqtisadi əhəmiyyəti əsaslandırılaraq, yüksək məşğulluq səviyyəsinin iqtisadi artımın sürətlənməsinə, sosial rifahın yüksəldilməsinə və sosial sabitliyin təmin edilməsinə verdiyi töhfə vurğulanmışdır.

İşdə insan kapitalının inkişafı məşğulluq siyasətinin əsas istiqamətlərindən biri kimi qiymətləndirilmişdir. Təhsil sisteminin əmək bazarının tələblərinə uyğunlaşdırılması, peşə təhsilinin və ixtisasartırma mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi, ömürboyu təhsil konsepsiyasının tətbiqi müasir dövrdə məşğulluğun artırılmasının əsas alətləri kimi göstərilmişdir.

Müasir dövrdə global iqtisadi sistemdə baş verən dərin və sürətli dəyişikliklər ölkələrin və regionların sosial-iqtisadi inkişaf strategiyalarına yeni tələblər irəli sürür. Texnoloji tərəqqinin sürətlənməsi, rəqəmsallaşma, beynəlxalq ticarət münasibətlərinin transformasiyası, global və

regional geosiyasi proseslər yeni iqtisadi reallıqları formalaşdıran əsas amillər kimi çıxış edir. Bu reallıqlar əmək bazarının strukturunda ciddi dəyişikliklərə səbəb olaraq məşğulluq məsələsini iqtisadi siyasətin əsas prioritetlərindən birinə çevirir.

Yeni iqtisadi reallıqlar şəraitində məşğulluq yalnız sosial rifahın təmin olunması vasitəsi deyil, eyni zamanda iqtisadi artımın dayanıqlığının, regionların inkişaf potensialının və insan kapitalından səmərəli istifadənin əsas göstəricisidir. Əmək bazarında baş verən struktur dəyişikliklər, bəzi ənənəvi sahələrdə iş yerlərinin azalması, digər sahələrdə isə yeni məşğulluq imkanlarının yaranması dövlətlərin məşğulluq siyasətinin yenidən formalaşdırılmasını zəruri edir.

Bu proseslər Naxçıvan Muxtar Respublikası üçün xüsusilə aktualdır. Coğrafi mövqeyi, uzun illər davam edən iqtisadi blokada şəraiti, məhdud təbii və nəqliyyat resursları Naxçıvanın iqtisadi inkişaf modelinə və məşğulluq strukturuna özünəməxsus təsir göstərmişdir. Bununla yanaşı, muxtar respublika kənd təsərrüfatı, emal sənayesi, enerji, turizm və tranzit-logistika sahələrində əhəmiyyətli potensiala malikdir. Yeni iqtisadi reallıqlar bu potensialın daha səmərəli reallaşdırılmasını və məşğulluq səviyyəsinin yüksəldilməsini aktuallaşdırır.

Məhz bu baxımdan təqdim olunan işin məqsədi yeni iqtisadi reallıqlar şəraitində Naxçıvan Muxtar Respublikasında məşğulluq səviyyəsinin yüksəldilməsi yollarını, mövcud problemləri və perspektiv istiqamətləri elmi-nəzəri və praktik aspektlərdən təhlil etməkdir. Araşdırmada regionun sosial-iqtisadi xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla məşğulluğun artırılmasına yönəlmiş əsas mexanizmlər və siyasət istiqamətləri sistemli şəkildə araşdırılır.

Açar sözlər: Məşğulluq, Naxçıvan Muxtar Respublikası, əmək bazarı, Sahibkarlıq fəaliyyəti və s.

ABSTRACT

Globalization, digitalization, technological innovations and rapid changes in production relations have shaped new economic realities in the modern era. These realities have a serious impact on the structure of the labor market, forms of employment and the nature of the demand for labor. The transformation of traditional employment models, the reduction of jobs in some professions and fields, as well as the emergence of employment opportunities in new areas, necessitate a review of employment policy.

The presented work comprehensively examines the issues of increasing the level of employment in the conditions of new economic realities. The study explains the essence of new economic realities, analyzes the mechanisms of their impact on the labor market. The socio-economic importance of employment is substantiated, and the contribution of a high level of employment to accelerating economic growth, improving social welfare and ensuring social stability is emphasized.

In this work, the development of human capital is assessed as one of the main directions of employment policy. Adapting the education system to the requirements of the labor market,

improving vocational education and professional development mechanisms, and applying the concept of lifelong learning are indicated as the main tools for increasing employment in the modern era.

The deep and rapid changes taking place in the global economic system in the modern era put forward new requirements for the socio-economic development strategies of countries and regions. Acceleration of technological progress, digitalization, transformation of international trade relations, global and regional geopolitical processes act as the main factors shaping new economic realities. These realities cause serious changes in the structure of the labor market, making the issue of employment one of the main priorities of economic policy.

In the conditions of new economic realities, employment is not only a means of ensuring social welfare, but also a key indicator of the sustainability of economic growth, the development potential of regions and the efficient use of human capital. Structural changes taking place in the labor market, the decrease in jobs in some traditional sectors, and the emergence of new employment opportunities in other sectors necessitate the reformulation of the employment policy of states.

These processes are especially relevant for the Nakhchivan Autonomous Republic. Its geographical location, the conditions of economic blockade for many years, limited natural and transport resources have had a specific impact on the economic development model and employment structure of Nakhchivan. At the same time, the autonomous republic has significant potential in the fields of agriculture, processing industry, energy, tourism and transit-logistics. New economic realities make more efficient realization of this potential and increasing the level of employment relevant.

It is from this perspective that the purpose of the presented work is to analyze the ways of increasing the level of employment in the Nakhchivan Autonomous Republic under the conditions of new economic realities, existing problems and perspective directions from scientific-theoretical and practical aspects. The study systematically examines the main mechanisms and policy directions aimed at increasing employment, taking into account the socio-economic characteristics of the region.

Keywords: Employment, Nakhchivan Autonomous Republic, labor market, Entrepreneurship, etc.

GİRİŞ

Müasir dövrdə qlobal iqtisadi sistem dərin və sürətli dəyişikliklər mərhələsindən keçir. Texnoloji inqilablar, rəqəmsallaşma, süni intellektin tətbiqi, qlobal dəyər zəncirlərinin transformasiyası, iqlim dəyişiklikləri və geosiyasi proseslər yeni iqtisadi reallıqları formalaşdırır. Bu reallıqlar əmək bazarına birbaşa təsir göstərərək ənənəvi məşğulluq modellərini dəyişir, yeni peşə və bacarıqlara tələbat yaradır, eyni zamanda bəzi sahələrdə iş

yerlərinin azalmasına səbəb olur. Belə bir şəraitdə məşğulluq səviyyəsinin yüksəldilməsi dövlətlərin sosial-iqtisadi siyasətində prioritet məsələlərdən birinə çevrilir.

Məşğulluq təkcə iqtisadi artımın nəticəsi deyil, eyni zamanda sosial sabitliyin, əhalinin rifahının və inklüziv inkişafın əsas göstəricisidir. Yeni iqtisadi reallıqlar fonunda məşğulluğun təmin edilməsi yalnız yeni iş yerlərinin yaradılması ilə məhdudlaşmır; burada insan kapitalının inkişafı, çevik əmək bazarının formalaşdırılması, aktiv əmək bazarı siyasətlərinin tətbiqi və innovasiyaların təşviqi xüsusi əhəmiyyət daşıyır.

Qlobal iqtisadi sistemdə baş verən sürətli dəyişikliklər, texnoloji tərəqqi, rəqəmsallaşma, beynəlxalq ticarət əlaqələrinin transformasiyası və geosiyasi proseslər müasir dövrdə yeni iqtisadi reallıqları formalaşdırmışdır. Bu reallıqlar ayrı-ayrı regionların sosial-iqtisadi inkişafına, xüsusilə də əmək bazarının strukturuna və məşğulluq səviyyəsinə mühüm təsir göstərir. Yeni iqtisadi şəraitdə məşğulluq yalnız sosial rifahın təmin olunması baxımından deyil, həm də iqtisadi dayanıqlığın və regional inkişafın əsas şərtlərindən biri kimi çıxış edir.

Naxçıvan Muxtar Respublikası coğrafi mövqeyi, iqtisadi blokada şəraiti, məhdud resursları və eyni zamanda strateji tranzit imkanları ilə Azərbaycanın digər regionlarından fərqlənir. Bu xüsusiyyətlər məşğulluq siyasətinin formalaşdırılmasında xüsusi yanaşma tələb edir. Yeni iqtisadi reallıqlar şəraitində Naxçıvanda məşğulluq səviyyəsinin yüksəldilməsi regional potensialdan səmərəli istifadəni, insan kapitalının inkişafını və innovativ iqtisadi fəaliyyət sahələrinin genişləndirilməsini zəruri edir.

Bu işdə yeni iqtisadi reallıqlar fonunda Naxçıvan Muxtar Respublikasında məşğulluq səviyyəsinin yüksəldilməsi problemləri, mövcud vəziyyət və perspektiv istiqamətlər elmi-nəzəri və praktik baxımdan təhlil olunur.

YENİ İQTİSADI REALLIQLARIN MAHİYYƏTİ VƏ ƏMƏK BAZARINA TƏSİRİ

Yeni iqtisadi reallıqlar anlayışı iqtisadiyyatın strukturunda, istehsal üsullarında və əmək münasibətlərində baş verən fundamental dəyişiklikləri ifadə edir. Rəqəmsal texnologiyaların geniş yayılması istehsal proseslərini avtomatlaşdırır, xidmət sektorunda onlayn platformaların rolunu artırır və məsafədən işləmə modelini genişləndirir (Qasimov, 2014). Nəticədə əmək bazarında tələb olunan bacarıqların strukturu dəyişir, yüksək ixtisaslı və texnoloji biliklərə malik işçi qüvvəsinə ehtiyac artır.

Eyni zamanda qloballaşmanın yeni mərhələsi əmək resurslarının beynəlxalq hərəkətliliyini gücləndirir. Bu isə bir tərəfdən bilik və təcrübə mübadiləsini sürətləndirsə də, digər tərəfdən yerli əmək bazarında rəqabəti artırır (Qəribov, 2007). Ənənəvi sənaye sahələrində məşğulluğun azalması, xidmət və innovasiya yönümlü sahələrdə isə artım müşahidə olunur. Bu transformasiya sosial-iqtisadi siyasətin çevik və proaktiv olmasını zəruri edir.

MƏŞĞULLUĞUN SOSIAL-İQTİSADI ƏHƏMİYYƏTİ

Məşğulluq səviyyəsi ölkənin iqtisadi potensialının reallaşdırılmasının əsas şərtlərindən biridir. Yüksək məşğulluq iqtisadi artımı stimullaşdırır, vergi bazasını genişləndirir və sosial müdafiə sisteminin maliyyə dayanıqlığını təmin edir (İsayev, 2012). Eyni zamanda məşğulluq sosial inteqrasiyanın və yoxsulluğun azaldılmasının əsas alətlərindən biridir.

Yeni iqtisadi reallıqlar şəraitində məşğulluğun keyfiyyət göstəriciləri də xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Yalnız iş yerlərinin sayı deyil, onların dayanıqlılığı, əməkhaqqı səviyyəsi, sosial təminat və təhlükəsizlik meyarları da diqqət mərkəzində olmalıdır. Keyfiyyətli məşğulluq insan kapitalının effektiv istifadəsini və uzunmüddətli iqtisadi inkişafı təmin edir.

İNSAN KAPITALININ İNKİŞAFI VƏ TƏHSİL SIYASƏTİ

Yeni iqtisadi şəraitdə məşğulluğun artırılmasının əsas şərtlərindən biri insan kapitalının inkişafıdır. Əmək bazarında rəqabət qabiliyyətli olmaq üçün bilik, bacarıq və səriştələrin davamlı yenilənməsi vacibdir. Bu baxımdan təhsil sistemi iqtisadiyyatın real tələblərinə uyğunlaşdırılmalıdır.

Peşə təhsili və ixtisasartırma proqramları əmək bazarının ehtiyaclarına çevik reaksiya verməli, gənclərin və işsiz şəxslərin müasir bacarıqlara yiyələnməsini təmin etməlidir (Qasımlı və b., 2022). Rəqəmsal savadlılıq, texnoloji bacarıqlar, analitik düşüncə və yumşaq bacarıqlar yeni dövrün əsas kompetensiyaları kimi ön plana çıxır.

Yeni iqtisadi şəraitdə insan kapitalı məşğulluğun əsas determinantlarından biridir. Nəticədə əmək bazarının tələblərinə uyğun ixtisaslı kadrların hazırlanması regional inkişafın mühüm şərtidir (Qasımov, 1996). Təhsil müəssisələrinin, xüsusilə ali və peşə təhsili sisteminin iqtisadiyyatın real tələblərinə uyğunlaşdırılması məşğulluq imkanlarını genişləndirir.

Rəqəmsal bacarıqların, texniki ixtisasların və innovativ düşüncə tərzinin formalaşdırılması gənclərin region daxilində məşğulluq imkanlarını artırır və miqrasiyanın qarşısının alınmasına töhfə verir.

AKTİV ƏMƏK BAZARI SİYASƏTLƏRİNİN TƏNZİMLƏNMƏSİ VƏ MÜASİR İQTİSADI RALLIQLAR

Yeni iqtisadi reallıqlar şəraitində məşğulluğun yüksəldilməsi üçün aktiv əmək bazarı siyasətlərinin rolu artır. Bu siyasətlərə işəgötürənlər üçün stimullar, məşğulluq proqramları, təlim və yenidən hazırlanma tədbirləri daxildir (Yusifova, 2005). Dövlətin əsas məqsədi işsizliyin passiv şəkildə kompensasiya edilməsi deyil, işsiz şəxslərin əmək bazarına reinteqrasiyasının təmin olunmasıdır.

Xüsusilə gənclər, qadınlar və uzunmüddətli işsizlər üçün hədəfli proqramların həyata keçirilməsi inklüziv məşğulluğun təmin edilməsinə töhfə verir. Bu proqramlar regional xüsusiyyətlər nəzərə alınmaqla hazırlanmalı və yerli əmək bazarının tələblərinə uyğunlaşdırılmalıdır.

KƏND TƏSƏRRÜFATI VƏ AQRAR MƏŞĞULLUĞUN YENİ İMKANLARI

Kənd təsərrüfatı Naxçıvan Muxtar Respublikasında məşğulluğun əsas sahələrindən biri olaraq qalmaqdadır (Əlirzayev, 2000). Yeni iqtisadi reallıqlar aqrar sektorda məhsuldarlığın artırılması, müasir texnologiyaların tətbiqi və emal sənayesinin inkişafı vasitəsilə məşğulluğun keyfiyyətcə yaxşılaşdırılmasına imkan yaradır.

Aqrar-sənaye kompleksinin formalaşdırılması, kooperasiya modellərinin tətbiqi və kənd yerlərində sahibkarlığın təşviqi regionda dayanıqlı məşğulluğun təmin olunmasına xidmət edir.

SAHİBKARLIĞIN VƏ ÖZÜNÜMƏŞĞULLUĞUN TƏŞVİQ OLUNMASI

Sahibkarlıq məşğulluğun artırılmasının mühüm mənbələrindən biridir. Yeni iqtisadi reallıqlar şəraitində innovativ və texnoloji yönümlü sahibkarlığın inkişafı xüsusi əhəmiyyət daşıyır (Əfəndiyev və b., 2006). Kiçik və orta biznesin dəstəklənməsi yeni iş yerlərinin yaradılmasına və iqtisadiyyatın şaxələndirilməsinə imkan yaradır.

Özünüməşğulluq proqramları əhalinin iqtisadi fəallığını artırır, xüsusilə regionlarda gəlir imkanlarını genişləndirir (Əhmədov, 2015). Maliyyə resurslarına çıxışın asanlaşdırılması, biznes biliklərinin artırılması və institusional dəstək mexanizmləri bu sahədə əsas amillərdir.

RƏQƏMSALLAŞMA VƏ YENİ MƏŞĞULLUQ FORMALARI

Rəqəmsallaşma əmək bazarında yeni məşğulluq formalarının yaranmasına səbəb olur. Uzaqdan işləmə, frilans fəaliyyəti və platforma iqtisadiyyatı klassik əmək münasibətlərini dəyişir (Nadirov və b., 2000). Bu modellər bir tərəfdən məşğulluq imkanlarını genişləndirir, digər tərəfdən sosial təminat və əmək hüquqları baxımından yeni çağırışlar yaradır.

Dövlət siyasəti bu dəyişiklikləri nəzərə alaraq əmək qanunvericiliyini və sosial müdafiə mexanizmlərini yeniləməlidir. Rəqəmsal iqtisadiyyatın imkanlarından səmərəli istifadə məşğulluğun artırılmasına və iqtisadi çevikliyin gücləndirilməsinə xidmət edir.

REGIONAL İNKİŞAF VƏ MƏŞĞULLUQ

Yeni iqtisadi reallıqlar şəraitində regional inkişaf məşğulluq siyasətinin ayrılmaz tərkib hissəsidir. Regionlar arasında iqtisadi imkanların qeyri-bərabərliyi daxili miqrasiyanı gücləndirir və sosial problemlər yaradır (Qasımov və b., 2017). Buna görə də regional potensialın reallaşdırılması məşğulluğun artırılması baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Kənd təsərrüfatı, turizm, emal sənayesi və logistika kimi sahələrin regionlarda inkişafı yerli məşğulluq imkanlarını genişləndirir (Bağırov, 2011). İnfrastruktur layihələri və investisiya təşviqləri regional əmək bazarının canlanmasına şərait yaradır.

DÖVLƏT VƏ ÖZƏL SEKTOR ƏMƏKDAŞLIĞI

Məşğulluğun yüksəldilməsi yalnız dövlətin səyləri ilə mümkün deyil. Dövlət və özəl sektor arasında əməkdaşlıq əmək bazarının effektivliyini artırır (Qasimov, 2014). Özəl sektorun investisiya fəaliyyəti yeni iş yerlərinin yaradılmasının əsas mənbəyidir.

Dövlət isə tənzimləyici və stimullaşdırıcı rol oynayaraq əlverişli biznes mühiti formalaşdırmalıdır. Təhsil müəssisələri ilə biznes strukturları arasında əməkdaşlıq kadr hazırlığının keyfiyyətini yüksəldir və gənclərin məşğulluq imkanlarını artırır.

SOSIAL MÜDAFİƏ VƏ İNKLÜZİV MƏŞĞULLUQ

Yeni iqtisadi reallıqlar şəraitində sosial müdafiə sisteminin məşğulluq siyasəti ilə uzlaşdırılması vacibdir (Qasimov və b, 2017). Sosial yardım mexanizmləri əmək bazarından kənarda qalmanı təşviq etməməli, əksinə, əmək fəaliyyətinə qoşulmanı stimullaşdırmalıdır.

Əlilliyi olan şəxslər, yaşlılar və digər həssas qruplar üçün inklüziv məşğulluq proqramları sosial ədalətin təmin olunmasına və iqtisadi fəallığın artırılmasına xidmət edir. Bu yanaşma cəmiyyətin bütün təbəqələrinin iqtisadi proseslərdə iştirakını təmin edir.

TURİZM VƏ XİDMƏT SEKTORUNDA MƏŞĞULLUQ İMKANLARI

Naxçıvan Muxtar Respublikası zəngin tarixi-mədəni irsi, təbii resursları və müalicəvi turizm potensialı ilə seçilir (Qasimov, 2014). Yeni iqtisadi reallıqlar turizm və xidmət sektorunun inkişafını sürətləndirərək məşğulluq imkanlarını genişləndirir.

Turizm infrastrukturlarının inkişafı, xidmət keyfiyyətinin artırılması və yerli əhalinin bu sahədə peşə bacarıqlarının yüksəldilməsi regionda davamlı məşğulluğa şərait yaradır.

NƏTİCƏ

Yeni iqtisadi reallıqlar şəraitində məşğulluq səviyyəsinin yüksəldilməsi kompleks və çoxşaxəli yanaşma tələb edir. Texnoloji dəyişikliklər, qlobal rəqabət və struktur transformasiyalar əmək bazarının çevikliyini və adaptasiya qabiliyyətini ön plana çıxarır. İnsan kapitalının inkişafı, aktiv əmək bazarı siyasətləri, sahibkarlığın təşviqi və rəqəmsallaşmanın imkanlarından səmərəli istifadə məşğulluğun artırılmasının əsas istiqamətləridir.

Uzunmüddətli perspektivdə dayanıqlı və inklüziv məşğulluğun təmin edilməsi iqtisadi artımın keyfiyyətini yüksəldir, sosial sabitliyi möhkəmləndirir və cəmiyyətin rifahını artırır. Bu baxımdan yeni iqtisadi reallıqlara uyğun məşğulluq siyasəti müasir dövlətin əsas strateji prioritetlərindən biri kimi çıxış edir.

Aparılan tədqiqat göstərir ki, yeni iqtisadi reallıqlar şəraitində Naxçıvan Muxtar Respublikasında məşğulluq səviyyəsinin yüksəldilməsi mürəkkəb, çoxşaxəli və sistemli

yanaşma tələb edən strateji məsələdir. Qlobal iqtisadi dəyişikliklər, texnoloji yeniliklər, rəqəmsallaşma və əmək bazarının transformasiyası regionun sosial-iqtisadi inkişaf modelinə yeni çağırışlar yaratmaqla yanaşı, eyni zamanda yeni imkanlar da formalaşdırır. Bu imkanlardan səmərəli istifadə edilməsi Naxçıvanın iqtisadi dayanıqlığının və sosial rifahının yüksəldilməsində həlledici rol oynaya bilər.

Araşdırma nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, Naxçıvan Muxtar Respublikasının coğrafi mövqeyi, iqtisadi blokada şəraiti və məhdud resursları məşğulluq siyasətində xüsusi yanaşma tələb edir. Bununla yanaşı, regionun kənd təsərrüfatı, emal sənayesi, enerji, turizm və xidmət sektorlarında mövcud potensialı məşğulluğun artırılması üçün mühüm əsaslar yaradır. Bu sahələrin kompleks və əlaqəli şəkildə inkişaf etdirilməsi yeni və dayanıqlı iş yerlərinin yaradılmasına imkan verir.

İnsan kapitalının inkişafı məşğulluq səviyyəsinin yüksəldilməsinin əsas şərtlərindən biri kimi çıxış edir. Təhsil sisteminin əmək bazarının real tələblərinə uyğunlaşdırılması, peşə və texniki təhsilin gücləndirilməsi, gənclərin rəqəmsal və innovativ bacarıqlara yiyələnməsi regionda ixtisaslı işçi qüvvəsinin formalaşmasına şərait yaradır. Bu isə həm daxili məşğulluğun artırılmasına, həm də əmək miqrasiyasının azaldılmasına müsbət təsir göstərir.

Tədqiqatda sahibkarlığın, özünüməşğulluğun və kiçik və orta biznesin inkişafının məşğulluğun yüksəldilməsində mühüm rol oynadığı əsaslandırılmışdır. Dövlət dəstəyi mexanizmləri, maliyyə resurslarına çıxış imkanlarının genişləndirilməsi və biznes mühitinin yaxşılaşdırılması əhalinin iqtisadi fəallığını artırır və yeni məşğulluq imkanları yaradır. Xüsusilə regionlarda ailə təsərrüfatları, kooperativlər və yerli istehsal subyektlərinin inkişafı sosial-iqtisadi tarazlığın qorunmasına xidmət edir.

Eyni zamanda rəqəmsallaşma və yeni məşğulluq formaları Naxçıvan üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Uzaqdan işləmə, onlayn xidmətlər və rəqəmsal sahibkarlıq coğrafi məhdudiyyətlərin təsirini zəiflədir, gənclər və ixtisaslı mütəxəssislər üçün əlavə məşğulluq imkanları yaradır. Bu istiqamətdə rəqəmsal infrastrukturun inkişafı və rəqəmsal savadlılığın artırılması prioritet məsələlərdən biri olmalıdır.

Nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, yeni iqtisadi reallıqlar şəraitində Naxçıvan Muxtar Respublikasında məşğulluq səviyyəsinin yüksəldilməsi üçün dövlət siyasəti, özəl sektor təşəbbüsləri və insan kapitalına investisiyalar arasında effektiv koordinasiya təmin edilməlidir. Aktiv məşğulluq proqramları, inklüziv sosial siyasət və regional inkişaf strategiyalarının uzlaşdırılması dayanıqlı məşğulluğun formalaşdırılmasının əsas şərtləridir. Bu yanaşmanın həyata keçirilməsi Naxçıvan Muxtar Respublikasının sosial-iqtisadi inkişafını sürətləndirəcək, əhalinin rifah səviyyəsini yüksəldəcək və regionun uzunmüddətli inkişaf perspektivlərini möhkəmləndirəcəkdir.

REFERENCES

- Əlirzayev, Ə. Q. (2000). Azərbaycanca sahibkarlığın inkişafı problemləri və həlli yolları: Nəzəriyyə və təcrübə. Bakı: Elm.
- Əfəndiyev, V., & Nağıyev, S. (2006). Əhali coğrafiyası (Dərslik). Bakı: Bakı Universiteti.
- Əhmədov, N. H. (2015). Naxçıvan Muxtar Respublikasının iqtisadiyyatı 90 ildə. Naxçıvan: Əcəmi.
- Bağırov, M. S. (2011). Sosial-iqtisadi statistika (II cild, dərs vəsaiti). Naxçıvan: İdeya.
- İsayev, E. S. (2012). V–XV əsrlərdə beynəlxalq ticarət və Azərbaycan. Naxçıvan: Əcəmi.
- Muradov, Ş. M. (2004). İnsan potensialı: Əsas meyillər, reallıqlar, problemlər. Bakı: Elm.
- Nadirov, A. A., Nuriyev, Ə. X., & Muradov, Ş. M. (2000). Naxçıvan iqtisadiyyatı XX əsrdə. Bakı: Elm.
- Qasımov, A. A. (1996). XX əsrdə Naxçıvanda erməni–Azərbaycan ziddiyyətləri. Azərbaycan tarixində Naxçıvan (tarixi öçerklər). Bakı: ADPU-nun mətbəəsi.
- Qasımov, C. Y. (2014). Aqrar sektorda məşğulluq probleminin həlli (Monoqrafiya). Bakı: ADPU-nun mətbəəsi.
- Qasımov, C. Y. (2017). İqtisadi terminologiya: Aqrar sektor, məşğulluq, sosial sfera. Naxçıvan: Əcəmi.
- Qasımov, C. Y., & Ələsgərova, F. Q. (2017). Naxçıvan Muxtar Respublikasının sosial-iqtisadi inkişafı: Tarixilik və müasirlik (Dərs vəsaiti). Naxçıvan: Əcəmi.
- Qasımlı, V. Ə., Hüseyn, R. Z., Hüseynov, R. F., Həsənov, R. B., Cəfərov, C. R., & Bayramova, A. B. (2022). Yaşıl iqtisadiyyat. Bakı: Azprint.
- Qəribov, A. H. (2007). Beynəlxalq iqtisadi münasibətlər və gömrük işi (terminlərin qısa izahlı lüğəti). Bakı: Səda.
- Yusifova, T. Q. (2005). Əməyin iqtisadiyyatının əsasları (Dərs vəsaiti). Bakı: İqtisad Universiteti.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MARKETING AND SALES: ITS IMPACT ON ECONOMIC GROWTH AND EMPLOYMENT

MEMMEDOVA Solmaz Ilham

Odlar Yurdu University
Koroglu Rahimov str., 13 AZ1072
Baku, Azerbaijan
ORCID ID: [0009-0001-5295-7686]

ABSTRACT

Over the past decade, the use of artificial intelligence to solve everyday problems has grown dramatically. AI-powered technologies can now perform a range of tasks, including obtaining information, coordinating logistics, providing financial services, translating complex documents, writing business reports, preparing legal briefs, and even diagnosing diseases. Moreover, they are likely to improve the efficiency and accuracy of these tasks thanks to their ability to learn and improve using machine learning (ML).

AI enables more precise segmentation and categorization of customers based on various criteria, primarily the revenue they generate, offering tailored solutions to meet the needs of each group, which ultimately increases loyalty. AI algorithms enable the use of tools for consumer analysis that visualize segmentation results using multidimensional projection.

Furthermore, AI algorithms can use association rules to identify relationships between products and provide customers with the most accurate recommendations for additional purchases. Improving long-term sales forecasts is an important area, allowing for lower inventory costs and optimal purchasing volumes.

AI has become an integral part of marketing and sales due to its ability to process large volumes of data, identify trends, and create personalized offers for each customer. AI enables the automation of routine sales tasks, such as maintaining customer databases, setting up CRM systems, as well as demand forecasting and inventory management.

The use of AI in marketing and sales has a positive impact on economic growth by increasing business efficiency, improving competitiveness, and stimulating innovation. Improving business productivity and efficiency: AI enables businesses to improve performance by automating processes and reducing operating costs. Reducing marketing costs, optimizing sales, and increasing customer loyalty help companies grow faster.

AI contributes to the development of the digital economy by creating new products and services that become integral to consumers' lives. For example, the development of virtual assistants, chatbots, and recommendation systems opens up opportunities for new business models and strategies. AI is opening up new opportunities for professionals, as new professions and tasks are emerging that require expertise in data analysis, machine learning, and digital marketing. AI is having a significant impact on marketing and sales, enabling companies to increase productivity, improve customer experience, and develop new products and services. The use of AI contributes to economic growth, increased competitiveness, and

the creation of new jobs. However, automation and digitalization are also reducing demand for some traditional roles. This requires labor market adaptation and retraining of workers to effectively utilize new technologies and remain competitive in a changing world.

Keywords: influencer marketing, artificial intelligence, digital transformation, virtual influencers, generative content, neuromarketing.

Copyright © Liberty

Date: 11.02.2026

Liberty Publishing House

Water Street Corridor New York, NY 10038

www.libertyacademicbooks.com

+1 (314) 597-0372

*ALL RIGHTS RESERVED NO PART OF THIS BOOK MAY BE REPRODUCED IN ANY FORM, BY
PHOTOCOPYING OR BY ANY ELECTRONIC OR MECHANICAL MEANS, INCLUDING
INFORMATION STORAGE OR RETRIEVAL SYSTEMS, WITHOUT PERMISSION IN WRITING
FROM BOTH THE COPYRIGHT OWNER AND THE PUBLISHER OF THIS BOOK.*

© Liberty Academic Publishers 2026

*The digital PDF version of this title is available Open Access and distributed under the terms of the
Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits adaptation, alteration, reproduction and distribution for noncommercial use,
without further permission provided the original work is attributed. The derivative works do not need
to be licensed on the same terms.
adopted by Mariam Rasulan*

ISBN: 979-8-89695-319-7

Issued: 11.02.2026



INTERNATIONAL CONFERENCE NETWORK