



ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ

JOURNAL OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE FACULTY OF ESKİŞEHİR OSMANGAZI UNIVERSITY

Yıl / Year : 2024

Cilt / Volume : 32

Sayı/ Issue : 1

e-ISSN : 2630 - 5712





T.C. ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ

e-ISSN : 2630 - 5712



# ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ

JOURNAL OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE FACULTY  
OF ESKİŞEHİR OSMANGAZİ UNIVERSITY



**YIL/YEAR : 2024**

**CİLT/VOLUME : 32**

**SAYI/ISSUE : 1**



**T.C. ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ**

e-ISSN : 2630 - 5712



**SAHİBİ / OWNER**

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Adına  
Prof. Dr. Haldun KURAMA  
Dekan

**EDİTÖR / EDITOR IN CHIEF**

Prof. Dr. Haldun KURAMA ([hkurama@ogu.edu.tr](mailto:hkurama@ogu.edu.tr))

**EDİTÖR YADIMCISI / ASSOCIATE EDITOR**

Prof. Dr. Melih İPHAR ([miphar@ogu.edu.tr](mailto:miphar@ogu.edu.tr))

**ALAN (BÖLÜM) EDİTÖRLERİ / AREA EDITORS**

<b>Bölüm / Department</b>	<b>Adı ve Soyadı / Name</b>
Bilgisayar Mühendisliği Computer Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Esra N. YOLAÇAN <a href="mailto:yolacan@ogu.edu.tr">yolacan@ogu.edu.tr</a>
Biyomedikal Mühendisliği Biomedical Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Sultan BÜTÜN ŞENGEL <a href="mailto:sultanbutun.sengel@ogu.edu.tr">sultanbutun.sengel@ogu.edu.tr</a>
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Electrical-Electronics Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DINDİŞ <a href="mailto:gdindis@ogu.edu.tr">gdindis@ogu.edu.tr</a>
Endüstri Mühendisliği Industrial Engineering	Doç. Dr. Feriştah ÖZÇELİK <a href="mailto:fdurmaz@ogu.edu.tr">fdurmaz@ogu.edu.tr</a>
İnşaat Mühendisliği Civil Engineering	Doç. Dr. Hakan ÖZBAŞARAN <a href="mailto:ozbasaran@ogu.edu.tr">ozbasaran@ogu.edu.tr</a>
Jeoloji Mühendisliği Geology Engineering	Prof. Dr. Selahattin KADİR <a href="mailto:skadir@ogu.edu.tr">skadir@ogu.edu.tr</a>
Kimya Mühendisliği Chemical Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Uğur SELENGİL <a href="mailto:uselen@ogu.edu.tr">uselen@ogu.edu.tr</a>
Maden Mühendisliği Mining Engineering	Prof. Dr. Sabiha KOCA <a href="mailto:skoca@ogu.edu.tr">skoca@ogu.edu.tr</a>
Makine Mühendisliği Mechanical Engineering	Prof. Dr. Haydar ARAS <a href="mailto:haras@ogu.edu.tr">haras@ogu.edu.tr</a>
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Metallurgical and Materials Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Ersu LÖKÇÜ <a href="mailto:elokcu@ogu.edu.tr">elokcu@ogu.edu.tr</a>
Mimarlık Architecture	Doç. Dr. Başak GÜÇYETER <a href="mailto:basakgucyeter@gmail.com">basakgucyeter@gmail.com</a>
Uçak Mühendisliği Aeronautical Engineering	Prof. Dr. Melih KUŞHAN <a href="mailto:mkushan@ogu.edu.tr">mkushan@ogu.edu.tr</a>
Yazılım Mühendisliği Software Engineering	Dr. Öğr. Üyesi İlker ÖZÇELİK <a href="mailto:ilker.ozcelik@ogu.edu.tr">ilker.ozcelik@ogu.edu.tr</a>



ÖN DEĞERLENDİRME / PRE-CONTROL

Bölüm	Adı ve Soyadı
Bilgisayar Müh. / Computer Engineering	Araş. Gör. Dr. Zuhal TEPECİK CAN <a href="mailto:zcan@ogu.edu.tr">zcan@ogu.edu.tr</a>
Biyomedikal Mühendisliği/Biomedical Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Yapıncak GÖNCÜ <a href="mailto:yapincak.goncu@ogu.edu.tr">yapincak.goncu@ogu.edu.tr</a>
Elektrik ve Elektronik Müh. / Electrical-Electronics Engineering	Araş. Gör. Dr. İpek ÇETİNBAŞ <a href="mailto:ipekcetinbas@ogu.edu.tr">ipekcetinbas@ogu.edu.tr</a>
Endüstri Müh. / Industrial Engineering	Araş. Gör. Aslıhan KARAŞ <a href="mailto:aslihan.karas@ogu.edu.tr">aslihan.karas@ogu.edu.tr</a>
İnşaat Müh. / Civil Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Meltem ERYILMAZ YILDIRIM <a href="mailto:meryilmaz@ogu.edu.tr">meryilmaz@ogu.edu.tr</a>
Jeoloji Müh. / Geology Engineering	Araş. Gör. Duru CESUR <a href="mailto:daral@ogu.edu.tr">daral@ogu.edu.tr</a>
Kimya Müh. / Chemical Engineering	Araş. Gör. Fırat YILMAZ <a href="mailto:firat.yilmaz@ogu.edu.tr">firat.yilmaz@ogu.edu.tr</a>
Maden Müh. / Mining Engineering	Dr. Öğr. Üyesi H. Serkan GÖKCEN <a href="mailto:sgokcen@ogu.edu.tr">sgokcen@ogu.edu.tr</a>
Makine Müh. / Mechanical Engineering	Araş. Gör. Hakan SERTEL <a href="mailto:hsertel@ogu.edu.tr">hsertel@ogu.edu.tr</a>
Metalurji ve Malzeme Müh. / Metallurgical and Materials Engineering	Araş. Gör. Dr. Işın AKAY ERDOĞAN <a href="mailto:iakay@ogu.edu.tr">iakay@ogu.edu.tr</a>
Mimarlık/Architecture	Doç. Dr. Başak GÜÇYETER <a href="mailto:basakgucyeter@ogu.edu.tr">basakgucyeter@ogu.edu.tr</a>
Uçak Mühendisliği/Aeronautical Engineering	Prof. Dr. Melih KUŞHAN <a href="mailto:mkushan@ogu.edu.tr">mkushan@ogu.edu.tr</a>
Yazılım Mühendisliği/Software Engineering	Araş. Gör. Sergen AŞIK <a href="mailto:sergen.asik@ogu.edu.tr">sergen.asik@ogu.edu.tr</a>



YAYIN KURULU / PUBLISHING EDITORS

Adı ve Soyadı / Name	Bölüm / Department
Prof. Dr. Haldun KURAMA	Editör, ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR
Prof. Dr. Melih İPHAR	Editör Yrd., ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR
Dr. Öğr. Üyesi Esra Nergis YOLAÇAN	ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DINDİŞ	ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR
Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR	SDÜ Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü ISPARTA
Doç. Dr. Cenk KARAKURT	Bilecik Şeyh Edebali Üniv. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü BİLECİK
Prof. Dr. Selahattin KADİR	ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR
Prof. Dr. Nurgül ÖZBAY	Bilecik Şeyh Edebali Üniv. Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü BİLECİK
Prof. Dr. Sabiha KOCA	ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR
Prof. Dr. Ramazan KÖSE	Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü KÜTAHYA
Dr. Öğr. Üyesi S. Mine TOKER	ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü ESKİŞEHİR



**EDİTÖRLER KURULU / EDITORIAL BOARD**

- 
- A. Hakan Benzer, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, [benzer@hacettepe.edu.tr](mailto:benzer@hacettepe.edu.tr)  
Barbara Tora, AGH University of Science and Technology in Kraków, Poland, [tora@agh.edu.pl](mailto:tora@agh.edu.pl)  
Buket D. Barkana, University of Bridgeport, Bridgeport, Connecticut, ABD, [bbarkana@bridgeport.edu](mailto:bbarkana@bridgeport.edu)  
Cafer Çelik, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, [ccelik@atauni.edu.tr](mailto:ccelik@atauni.edu.tr)  
Cahit Helvacı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, [cahit.helvaci@deu.edu.tr](mailto:cahit.helvaci@deu.edu.tr)  
Cemal Baykara, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, [baykaracem@itu.edu.tr](mailto:baykaracem@itu.edu.tr)  
Cengiz Dünder, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, [dunder@cu.edu.tr](mailto:dunder@cu.edu.tr)  
Demircan Canadınç, Koç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, [dcanadinc@ku.edu.tr](mailto:dcanadinc@ku.edu.tr)  
Derviş Karaboğa, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, [karaboga@erciyes.edu.tr](mailto:karaboga@erciyes.edu.tr)  
Emin Çiftçi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, [eciftci@gmail.com](mailto:eciftci@gmail.com)  
Fatemeh Azmandian, Dell EMC Hopkinton, Massachusetts, ABD, [fatemeh\\_azmandian@yahoo.com](mailto:fatemeh_azmandian@yahoo.com)  
Fatih Altun, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, [faltun@erciyes.edu.tr](mailto:faltun@erciyes.edu.tr)  
Fatih Hocaoğlu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, [hocaoglu@aku.edu.tr](mailto:hocaoglu@aku.edu.tr)  
Gürsoy Arslan, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, [garslan@anadolu.edu.tr](mailto:garslan@anadolu.edu.tr)  
Habil. Ali Cemal Benim, Duesseldorf University, Duesseldorf, Almanya, [alicemal.benim@hs-duesseldorf.de](mailto:alicemal.benim@hs-duesseldorf.de)  
Hatem Akbulut, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, [akbulut@sakarya.edu.tr](mailto:akbulut@sakarya.edu.tr)  
Kadri Dağdelen, Colorado School of Mines, Colorado, ABD, [kdagdelen@mines.edu](mailto:kdagdelen@mines.edu)  
L. Antonio Estévez, University of Puerto Rico, Mayaguez, Puerto Rico, [antonio.estevez@upr.edu](mailto:antonio.estevez@upr.edu)  
Manuel Pozo Rodríguez, Universidad Autónoma of Madrid, İspanya, [manuel.pozo@uam.es](mailto:manuel.pozo@uam.es)  
Mehmet Saltan, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, [mehmetsaltan@sdu.edu.tr](mailto:mehmetsaltan@sdu.edu.tr)  
Ömer Nezhir Gerek, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, [ongerek@eskisehir.edu.tr](mailto:ongerek@eskisehir.edu.tr)  
Paul A. Schroeder, University of Georgia, ABD, [schroe@uga.edu](mailto:schroe@uga.edu)  
Rasim İpek, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, [rasim.ipek@ege.edu.tr](mailto:rasim.ipek@ege.edu.tr)  
Serpil Erol, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, [serpiller@gazi.edu.tr](mailto:serpiller@gazi.edu.tr)  
Şadan Kelebek, Queen's University, Kanada, [sadan.kelebek@queensu.ca](mailto:sadan.kelebek@queensu.ca)  
Şeref Sağıroğlu, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, [ss@gazi.edu.tr](mailto:ss@gazi.edu.tr)  
Yasemin Serin, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, [serin@metu.edu.tr](mailto:serin@metu.edu.tr)  
Yüksel Avcıbaşı Güvenilir, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, [avcibasi@itu.edu.tr](mailto:avcibasi@itu.edu.tr)  
Zeki Aktaş, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, [zaktas@eng.ankara.edu.tr](mailto:zaktas@eng.ankara.edu.tr)
-



Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, bilim ve teknolojideki son gelişmeleri aktarmak amacıyla;

- ❖ Bilgisayar Mühendisliği
- ❖ Biyomedikal Mühendisliği
- ❖ Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- ❖ Endüstri Mühendisliği
- ❖ İnşaat Mühendisliği
- ❖ Jeoloji Mühendisliği
- ❖ Kimya Mühendisliği
- ❖ Maden Mühendisliği
- ❖ Makine Mühendisliği
- ❖ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- ❖ Mimarlık
- ❖ Uçak Mühendisliği
- ❖ Yazılım Mühendisliği

dallarında; *kuramsal ve uygulamalı araştırma ile tarama* niteliklerinde makaleler yayımlamayı amaçlayan disiplinler arası ve hakemli bir dergidir. Dergi, belirtilen mühendislik branşlarında hızla gelişen alanlarına ilişkin çalışmaları ulaştırmayı amaçlamaktadır.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi ilk olarak **1986 yılında** "Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi" olarak yayın hayatına başlamıştır. 1993 ve 2005 yıllarında yapılan isim değişiklikleri sonrasında, üniversitemiz adının "Eskişehir Osmangazi Üniversitesi" olması nedeniyle derginin adı da "Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi" (ISSN: 1301-045x) haline gelmiştir.

Dergi yılda 2 sayı olarak yayımlanmış olup 2012 yılı sonunda yayın hayatına ara vermiştir.

2018 yılından itibaren e-Dergi olarak yayın hayatına tekrar başlamıştır.

Dergi hakkında ayrıntılı bilgiler

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ogummf>

web sayfasında verilmiştir.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi yılda 3 sayı olarak yayımlanmaktadır.

Bu sayılara ek olarak Editörler Kurulu'nun kararıyla, fakültemiz bölümleri tarafında yürütülen bir kongrede sunulan bildiriler "Özel Sayı" olarak yayımlanabilmektedir.

The Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University is a multidisciplinary and peer-reviewed journal in engineering. The journal is not limited to a particular aspect of science and engineering, but is instead devoted to a wide range of areas in engineering. The journal aims to publish high quality papers in the areas of:

- ❖ Computer Engineering
- ❖ Biomedical Engineering
- ❖ Electrical-Electronics Engineering
- ❖ Industrial Engineering
- ❖ Civil Engineering
- ❖ Geology Engineering
- ❖ Chemical Engineering
- ❖ Mining Engineering
- ❖ Mechanical Engineering
- ❖ Metallurgical and Materials Engineering
- ❖ Architecture
- ❖ Aeronautical Engineering
- ❖ Software Engineering

This journal publishes original theoretical and empirical research papers as well as review papers and case studies related to these areas of engineering. High quality submissions are welcome from academics, researchers, and practitioners.

The Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University was first launched in 1986. After the name of the journal changed in both 1993 and 2005, consequently, the name is "The Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University" (ISSN: 1301-045x). The journal was published as 2 issues per year until the end of 2012, then publication of the journal is suspended between 2012-2017.

It has resumed its publication life as an online journal in 2018.

Additional information for the journal is given at web page :

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ogummf>

The Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University is published as 3 issues per year.

In addition to the regular issues, proceedings of the conferences which are organized by our university are published as special issues depending upon the decision of the Editorial Board.



T.C. ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ



e-ISSN : 2630 - 5712

Dergi, halen, aşağıda verilen indeksler tarafından taranmaktadır.

The journal is currently indexed in the following databases.



[TR Dizin](#)



[SOBIAD](#)



[EBSCO Host](#)



[Index Copernicus](#)



[DOAJ \(Directory of Open Access Journals\)](#)



[BASE](#)



[WorldCat](#)





## İÇİNDEKİLER/ CONTENTS

### Araştırma Makaleleri / Research Articles

### Sayfa

- ÇLİ Kömür Stoklarında Kalori Homojenizasyon Verimliliğinin İncelenmesi** 1112 – 1117  
Investigation of Calorie Homogenization Efficiency in CLI Coal Stock  
Arif ÇELİK
- Assessing the University On-Campus Transport Modes: A Preliminary Study** 1118 – 1129  
Kampüs İçi Ulaşım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi: Bir Ön Çalışma  
Furkan KELEŞ, Hasan ÖZGÜL, Berna HAKTANIRLAR ULUTAŞ
- İki Boyutlu Kesme Problemi İçin Yeni Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama Modelleri** 1130 – 1139  
New Mixed Integer Linear Programming Models for Two-Dimensional Cutting Stock Problem  
Büşra TUTUMLU, Gülüm TUNCER, Tuğba SARAÇ
- NLP Transformers: Analysis of LLMs and Traditional Approaches for Enhanced Text Summarization** 1140 – 1151  
Transformer Mimarisi Tabanlı Metin Özetleme ve Doğal Dil Anlamlandırma  
Yunus Emre ISIKDEMİR
- Sodium Dithionite as A Pyrite Depressant in Gold Ore Flotation** 1152 – 1158  
Altın Cevheri Flotasyonunda Bir Pirit Bastırıcı Olarak Sodyum Ditiyonit  
Semih OLUKLULU, Volkan BOZKURT, Yaşar UÇBAŞ
- Kamera Hata Enjeksiyon Aracı İle Kamera Tabanlı Robotik Denetleme Sisteminin Doğrulanması ve Onaylanması** 1159 – 1168  
Verification and Validation of Camera-Based Robotic Inspection System With Camera Fault Injection Tool  
Alim Kerem ERDOĞMUŞ, Uğur YAYAN
- Dolgu Baraj Granüler Zeminlerinde İçsel Stabilite Potansiyelinin Değerlendirilmesi** 1169 – 1176  
Assessment of Internal Stability Potential in Embankment Dam Granular Soils  
Sadettin TOPÇU, Evren SEYREK
- Grafit Tozunun Kauçuk Karışımların Üzerine Etkilerinin İncelenmesi** 1177 – 1182  
Investigation of The Effects of Graphite Powder on Rubber Compounds  
Ezgi ERBEK CÖMEZ, Halit Levent HOŞGÜN, Selda ÖZTÜRK
- Bir Kalker Ocağında Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Farklı Regresyon Modelleri İle Tahmin Edilmesi** 1183 – 1191  
Estimation of Blasting-Induced Vibrations in A Limestone Quarry With Different Regression Models  
Hakan AK, Syamsul Hidayat
- Performance Investigation of A 5 MW Photovoltaic System: Alfashir Sudan** 1192 – 1203  
5 MW Fotovoltaik Sistemin Performans İncelemesi: Alfashir Sudan  
Abdaltah Hamed ALI, Atabak NAJAFI
- Ağır Ticari Araçlarda Dizel Yerine Sıvılaştırılmış Doğal Gaz Kullanımının Yakıt Tüketimine Etkisi** 1204 – 1214  
Effect of Use of Liquefied Natural Gas Instead of Diesel in Heavy Commercial Vehicles on Fuel Consumption  
Bekir Barış ERÇELİK, Bahadır DOĞAN



**Araştırma Makaleleri / Research Articles**

**Sayfa**

- Kriyojenik Isıl İşlemin Ti6Al4V Alaşımınlarında Dinamik Tokluk Üzerindeki Etkisinin Deneysel Araştırılması** 1215 – 1220  
Investigation of The Effect of Cryogenic Heat Treatment on Experimental Dynamic Toughness in Ti6Al4V Alloys  
Cansu ÇİMEN, Koray KILIÇAY, Esad KAYA
- Doğal Taş Sektörü İş Sağlığı ve Güvenliği Harcamalarının Fayda-Maliyet Analizi: Bir Mermer Fabrikası Örneği** 1221 – 1229  
Benefit-Cost Analysis of Occupational Health and Safety Expenditures in The Natural Stone Industry: An Example of A Marble Factory  
Seyhan ÖNDER, Ece KUNDAK, Mustafa ÖNDER
- UMREK Koduna Göre Çayırhan B Linyit Sahasının Rezerv Kestirimi** 1230 – 1242  
Reserve Estimation of Cayirhan B Lignite Field According to The UMREK Code  
Ferhat BÜYÜKBAŞ, Mahmut YAVUZ
- Hibrit Elektrikli Araçlar İçin Düşük Çalışma Geriliminde İç Rotorlu Fırçasız Doğru Akım Motoru Tasarımı** 1243 – 1256  
Inner Rotor Brushless Direct Current Motor Design At Low Operating Voltage For Hybrid Electric Vehicles  
Gökhan ERDOĞAN, Yener TAŞKIN, Hasan TİRYAKİ
- Stackoverflow'da "Big Data" İle İlgili Gönderilerin Konu Modelleme ve Birliktelik Analizi İle Özelliklerinin Çıkarılması** 1257 – 1268  
Extracting Features of "Big Data" Related Posts on Stackoverflow With Topic Modeling and Association Analysis  
Adile GENÇ, Ayça YURTSEVEN, Hacer ÖZYURT, Özcan ÖZYURT

# ÇLİ KÖMÜR STOKLARINDA KALORİ HOMOJENİZASYON VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Arif ÇELİK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Çan Linyitleri İşletmesi, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-2914-3369>

## Anahtar Kelimeler

Kömür stoklama  
Harmanlama  
Homojenizasyon  
Verimlilik

## Öz

Dünya genelinde yaşanan küresel enflasyon ve Rusya-Ukrayna savaşının neden olduğu enerji krizi tüm dünyada enerji verimliliği ile ilgili çalışmaların ivme kazanmasına olanak sağlamıştır. Kömüre dayalı termik santrallerdeki enerji üretim verimliliği de bu çalışmaların önemlilerindedir. Bilindiği üzere kömüre dayalı termik santrallerde enerji verimliliği hususunda en önemli parametrelerden biri termik santralin kazan dizaynına uygun özelliklerdeki kömürlerin teminidir. Burada, benzer özelliklerdeki kömürlerin yüksek miktarlarda sürekli teminini sağlamak kolay bir süreç olmadığından dolayı, uygulamada farklı özelliklerdeki kömürler stok sahalarında harmanlama/homojenizasyon uygulamaları ile biraya getirilmekte ve istenilen özelliklerdeki kömür hazırlanmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmada, iki termik santral için farklı özelliklerde kömür temin eden Çan Linyitleri İşletmesinde (ÇLİ) uygulanan homojenizasyon faaliyetleri araştırılmış ve bu faaliyetlerin verimliliği değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları, ÇLİ’de uygulanan homojenizasyon tekniğinin iki termik santral için ortalama %77,9 oranında başarı gösterdiğini ortaya koymuştur. Araştırma sonuçlarına paralel olarak, çalışma kapsamında, mevcut homojenizasyon yönteminin verimliliğini daha üst seviyelere çıkarabilecek değişiklik önerisi yapılmıştır.

## INVESTIGATION OF CALORIE HOMOGENIZATION EFFICIENCY IN CLI COAL STOCK

### Keywords

Coal stocking  
Blending  
Homogenization  
Efficiency

### Abstract

Global inflation and the energy crisis caused by the Russia-Ukraine war have enabled studies on energy efficiency to gain momentum all over the world. Energy production efficiency in coal-based thermal power plants is also one of the important studies. As it is known, one of the most important parameters in terms of energy efficiency in coal-based thermal power plants is the supply of coal with properties suitable for the boiler design of the thermal power plant. Here, since it is not an easy process to ensure the continuous supply of coals with similar properties in high quantities, in practice coals with different properties are brought together in stock areas by blending/homogenization applications and coal with the desired properties is tried to be prepared. In this study, homogenization activities implemented in Can Lignite Enterprise (CLI), which provides coal with different properties for two thermal power plants, were investigated and the efficiency of these activities was evaluated. The research results revealed that the homogenization technique applied in CLI showed an average success rate of 77.9% for two thermal power plants. In parallel with the research results, a change proposal was made within the scope of the study that could increase the efficiency of the existing homogenization method to higher levels.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 01.02.2023

Kabul Tarihi

: 04.03.2024

Research Article

Submission Date

: 01.02.2023

Accepted Date

: 04.03.2024

\* Sorumlu yazar; e-posta : [arif\\_rester@hotmail.com](mailto:arif_rester@hotmail.com)

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1245820>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Giriş

Geniş aralıkta ısıl değerlere sahip farklı kömürlerin, stok sahalarında çeşitli teknikler kullanılarak istenilen belirli bir ısıl değer aralığında olacak şekilde düzenlenmesi için gerçekleştirilen fiziksel uygulamalar homojenizasyon veya harmanlama olarak tanımlanmaktadır. Harmanlama ve homojenizasyon terimleri sıklıkla birbirlerinin yerine kullanılsa da aralarında farklılıklar vardır. En dikkate değer fark, harmanlama işleminde farklı kaynaklardan gelen kömürlerin, homojenizasyon işleminde ise aynı kaynaktan gelen kömürlerin değerlendirilmesidir. Bu uygulamalar kömür ihracatçıları ile kömürle çalışan termik santraller için homojen bir kömürün sağlanması aşamasında son derece önemli olan uygulamalardır. Son yıllarda bu uygulamalar ile ilgili önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Robinson, 2004; Marques, Costa, Riberio ve Koppe, 2009; Xi-jin, 2009, Beretta, Costa ve Koppe 2010; Tek, 2012).

Kömüre dayalı termik santrallerde verimlilik ve etkinlik aşamasında en önemli parametrelerden biri termik santralin kazan yapısına uygun kömürlerin teminidir (Benndorf, 2013). Dünya çapında kömüre dayalı termik santrallerin en az %20'sinde kazan gereksinimlerini karşılayan kömürlerin tedarikinde zorluklar yaşandığı bilinmektedir (Petrocom, 2014).

Termik santralin yakma ünitesine beslenen kömürün özellikleri ile santralin tasarım aşamasında belirlenen kömürün özelliklerinin birbirlerinden farklı olması; işletme şartlarının bozulmasına, üretim kayıplarına, teknik, ekonomik ve çevresel etkiler bakımından olumsuz koşulların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Taştekin, 2002).

Aydın, Pakdil ve Aydın (2010) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, termik santralin kazanına beslenen kömürlerin kalori değerlerindeki değişkenliğin üretim maliyetini artıran en önemli faktör olduğu ortaya konmuştur.

Yörükoğlu (2017) tarafından kömür harmanlama ile ilgili gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise, ülkemiz tesis işletmecilerinin kömür harmanlama ile ilgili süreçlere gereken önemi göstermediğinden ve bu konudaki bilimsel çalışma sayısının azlığından yakınılmaktadır.

Homojenizasyon/harmanlama süreçlerinde iklim koşulları, depolama alanının boyutları, ve bu amaçla kullanılan iş makineleri gibi bazı faktörler dikkate alınarak çeşitli stoklama teknikleri uygulanmaktadır (Sloss, 2014; Benndorf, 2013; Okten, Kural ve Algurkaplan, 2009). Stoklama yöntemleri ve stoklama faaliyetlerinde kullanılan iş makineleri termik santral ve maden ocağında çoğunlukla farklıdır. Termik santrallerde gerçekleştirilen stoklama faaliyetlerinde genellikle döner kepçeli ekskavatör kullanılmakta ve stoklama yöntemi olarak da Windrow, Chevron ve Cone

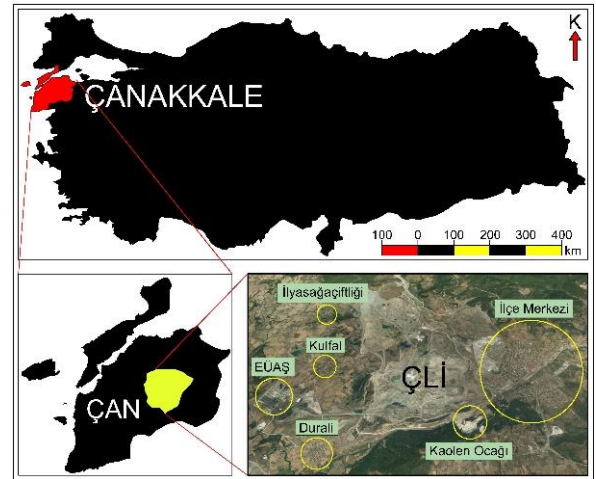
Shell Type metotlarından biri tercih edilmektedir. (Okten, Kural ve Algurkaplan, 2009; Zhao, 2016). Maden sahalarında yürütülen stoklama faaliyetlerinde ise genellikle kamyonlar ile serbest döküm yöntemi kullanılmaktadır (Young and Rogers, 2021).

Bu çalışmada, serbest döküm yönteminin uygulandığı Çan Linyitleri İşletmesi (ÇLİ) stok sahalarındaki, kalori homojenizasyon çalışmaları değerlendirilmiş ve bu çalışmaların verimliliği araştırılmıştır.

## 2. Çalışma Sahası

Çan Linyitleri İşletmesi, Çanakkale ilinin Çan ilçesinde, ilçe merkezi, Kulfal ve Duralı köyleri arasında konumlanmaktadır. Yer bulduru haritası Şekil 1'de (Celik, 2022) verilmiştir.

Enerji krizinin her geçen gün daha da hissedildiği günümüz dünyasında Çan Linyitleri İşletmesi ülkemiz için önemli bir kömür üreticisi rolünü üstlenmektedir. Üretim faaliyetlerinin açık ocak işletmeciliği ile gerçekleştirildiği işletmede, 2022 yılında üretilen kömür miktarı 5 milyon tona ulaşmıştır. Üretilen kömürlerin %95'inden fazlasının bölgedeki termik santrallere satıldığı işletmede kömür kalori homojenizasyonunun sağlanması süreci işletmecilik faaliyetleri arasında önemli bir yer edinmektedir.



Şekil 1. Yer Bulduru Haritası (Celik, 2022).

### 2.1. ÇLİ Stoklama Faaliyetleri

ÇLİ'de yürütülen stoklama faaliyetleri müşteri memnuniyetini sağlayabilmek adına 4 farklı stok sahalarında gerçekleştirilmektedir (Şekil 2).

Şekil 2'de gösterilen 1 ve 4 numaralı stok sahaları 18 Mart Çan termik santralinin ihtiyaç duyduğu kömürlerin temini için, 2 ve 3 numaralı stok sahaları ise Çan2 termik santralinin ihtiyaç duyduğu kömürlerin temini için kullanılmaktadır. Stok sahalarının müşteri bazlı

değerlendirilmesindeki en önemli etken satışa esas kömürlerin alt ısıl değeridir. Burada 18 Mart Çan termik santrali için hazırlanan stoklarda hedeflenen alt ısıl değer 2.300 ila 3.000 kcal/kg iken Çan2 termik santrali için hazırlanan stoklarda hedeflenen alt ısıl değer 1.800 ila 2.300 kcal/kg'dir.



Şekil 2. ÇLİ Kömür Stok Sahaları.

## 2.2. ÇLİ Kömürlerinin Kalori Dağılımı

Homojenizasyon verimliliğinde kaç farklı kalitedeki malzemenin homojenizasyonunun sağlanacağı önemlidir. Bu aşamada ÇLİ kömürleri, kalori homojenizasyon faaliyetlerini oldukça güçleştiren bir potansiyele sahiptir. Tablo 1'de ÇLİ'de 2021 yılında üretilen yaklaşık 3.3 milyon ton kömürden alınan toplamda 768 adet numune verisine ait kalori dağılımı sunulmuştur.

Tablo 1. 2021 Yılı ÇLİ Üretim Kalori Dağılımı

Alt ısıl değer aralığı (kcal/kg)	Dağılım (%)
< 1.000	6.38
1.000 – 1.499	11.33
1.500 – 1.999	16.80
2.000 – 2.499	17.06
2.500 – 2.999	13.41
3.000 – 3.499	15.76
3.500 – 4.000	12.63
> 4.000	6.64
En düşük alt ısıl değer	346 kcal/kg
En yüksek alt ısıl değer	4.747 kcal/kg
Ortalama alt ısıl değer	2.504 kcal/kg

2021 yılı numune sonuçlarından, 18 Mart Çan termik santrali için belirlenen 2.300 ila 3.000 kcal/kg aralığındaki kömürlerin toplam üretim içerisindeki oranı %20,96 ve Çan2 termik santrali için belirlenen

1.800-2.300 kcal/kg aralığındaki kömürlerin toplam üretimin içerisindeki oranı %16,54 olarak tespit edilmiştir.

ÇLİ'de yürütülen stoklama faaliyetleri tek bir kaynaktan gerçekleştirilmesine rağmen Tablo 1'den görüleceği üzere stoğa sevk edilen kömürlerin kalori dağılımının geniş bir aralıkta yayılım göstermesi, ÇLİ için kalori homojenizasyon faaliyetlerinin ne denli önemli ve zor olduğunu ortaya koymaktadır.

## 3. ÇLİ Kalori Homojenizasyon Faaliyetleri

ÇLİ'de uygulanan kalori homojenizasyon faaliyetlerinde yürütülen iş birimlerine ait ayrıntılı bilgiler alt bölümlerde açıklanmıştır.

### 3.1. Kömür Üretim Faaliyetlerinin Organizasyonu

ÇLİ üretim faaliyetleri A ve B panosu olmak üzere iki üretim panosunda yürütülmektedir. Üretim panolarında yıl genelinde değişiklik arz etmekle birlikte aynı anda ortalama üç farklı kalitedeki kömürün üretimi gerçekleştirilmektedir.

Farklı kalitelere kömürlerin aynı anda üretimi, stoklama faaliyetlerinin tek bir stok sahasında gerçekleştirilmesine müsaade etmemektedir. Bu nedenle ÇLİ'de yürütülen stoklama faaliyetlerinde her daim en az 2 stok kullanılmaktadır.

Üretilen kömürlerin stok sahaslarına sevk ve organizasyonu aşamasındaki en önemli süreç üretilen kömürün alt ısıl değer aralığının veya alt ısıl değerinin belirlenmesidir. Yılın 365 günü üretim faaliyetlerinin gerçekleştirildiği böyle bir işletmede her üretim bölgesinden sürekli numune alımı sahada uygulanabilir bir yöntem değildir. Bu nedenle üretim bölgesindeki kömürlerin alt ısıl değeri yerine genellikle üretilen kömürlerin alt ısıl değer aralığı kullanılmaktadır. Alt ısıl değer aralığı, ÇLİ'de alanında uzmanlaşmış personeller tarafından görsel olarak üretim bölgelerinin günlük takibi ile belirlenmektedir. Alt ısıl değer aralığının tahmininde kararsız kalınan bölgelerde ise numune alınarak alt ısıl değer belirlenmektedir.

### 3.2. Stoklama Faaliyetleri

Stoklama faaliyetlerinde gerekli homojenizasyonun sağlanması aşamasında stok yüksekliği, depolama alanı, stoktan yüklemenin nasıl gerçekleştiği ve satışa esas kömür kalorisinin nasıl belirlendiği önemli kriterlerdir.

ÇLİ'de stok yüksekliği en fazla 7 metredir. Ancak stok miktarı bir milyon tonu aştığında stok yükseklikleri 14 metreye kadar çıkarılmaktadır. Bu durumlarda stoktan yükleme işlemi her bir kat en fazla 7 metre olacak şekilde 2 kat halinde gerçekleştirilmektedir.

ÇLİ stok sahalarının depolama alanı 20.000 ila 30.000 m<sup>2</sup> arasında değişmekle birlikte ortalama 25.000 m<sup>2</sup> civarındadır.

Stok sahalarından kömür satışı lastikli yükleyiciler ile gerçekleştirilmekte ve satışa esas kömür kalorisinin belirlenmesi vardiya bazında yapılmaktadır.

Stok yüksekliği ve depolama alanı göz önünde bulundurulduğunda homojenizasyon çalışmalarında yaklaşık 200.000 tonluk bir stok kullanılmaktadır. Buna karşın stoktan yüklemenin lastikli yükleyiciler ile gerçekleştirilmesi ve satışa esas kömür kalorisinin vardiya bazında değerlendirilmesi süreçleri, homojenizasyon çalışmalarında stoğun kalorisinin bölgesel olarak her bir yükleme bölgesinde aynı olması gerekliliğini zorunlu kılmaktadır.

Bu bilgiler ışığında, ÇLİ'de yürütülen stoklama faaliyetlerinde her bir stok yaklaşık 11 kattan oluşturulmaktadır. Bir stok katının oluşumunda üretim sahasından kamyonlar ile stok sahasına gelen kömürler stok tabanına serbest döküm yapılarak dökülmekte ve dökülen kömürler dozer ve greyder iş makineleri ile sıkıştırılarak düzenlenmektedir. Burada, serbest dökümlerin sıkıştırılıp düzenlenmesi sonucunda oluşan her bir stok katı yaklaşık 0,6 m'ye karşılık gelmektedir.

Stoklama faaliyetlerinde gerekli homojenizasyonun sağlanabilmesi için stoğa sevk edilen kömürlerden günlük numune alınmaktadır. Burada bir stok katı yaklaşık 18.000 ton civarında olup, hazırlanması ortalama 4 gün sürmektedir. Bu değerler üzerinden yaklaşık 200.000 tonluk bir stoğun homojenizasyon çalışmalarında yaklaşık 50 adet kömür numunesi kullanılmaktadır.

Stoklama çalışmalarında stoğun ortalama alt ısı değerini hedeflenen alt ısı değer aralığına getirebilmek için ÇLİ'de her stok katından 3 ila 5 kömür numunesi alınmakta ve alınan numunelerin alt ısı değer sonuçları kullanılarak her bir stok katının temsili ortalama alt ısı değeri belirlenmektedir. Stok yüksekliği 8. kata ulaştığında her bir katın ortalama alt ısı değer verileri kullanılarak stoğun ortalama alt ısı değeri belirlenmektedir. Bu aşamada ilgili stoğun depolama alanı ve stoğa sevk edilen kömürlerin yığın yoğunluğu kullanılarak stok miktarı belirlenmektedir. Sonrasında bu değerler üzerinden stoğun hedeflenen alt ısı değer aralığına getirilmesi için gereken kömürün miktarının ve alt ısı değerinin ne olması gerekliliği ile ilgili üretim koşulları da dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmaktadır.

Değerlendirmeler sonucunda stoğun hedeflenen alt ısı değer aralığına ulaşması için gereken kömürler üretim sahasından belirlenmekte ve mevcut üretim bu bölgelere kaydırılmaktadır. Akabinde bu bölgelerden üretilen kömürlerin stok sahasına sevk ve organizasyonu işlemleri gerçekleştirilerek stoklama faaliyetleri tamamlanmaktadır.

#### 4. Sonuçlar

ÇLİ'de yürütülen kalori homojenizasyon verimliliğinde, stoklar için hedeflenen alt ısı değer aralığı ile stoklardan satışı gerçekleşen kömürlerin alt ısı değer aralıkları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada 2021 yılı kömür satışları dikkate alınmıştır.

ÇLİ'de 18 Mart Çan termik santrali için hazırlanan stokların hedeflenen alt ısı değeri 2.300 ila 3.000 kcal/kg arasında, ortalama 2.650 kcal/kg'dir. 2021 yılında 18 Mart Çan termik santrali için hazırlanan stoklardan 1.845.450 ton kömür satışı gerçekleşmiş olup, satışın ortalama alt ısı değeri 2.765 kcal/kg olarak tespit edilmiştir. Bu değerler üzerinden stokların homojenizasyon verimliliği %95,8 olarak hesaplanmıştır. Ancak Bölüm 3.2'de bahsedildiği üzere satışa esas kömür kalorisini vardiya bazında değerlendirildiğinden dolayı stok ve satışın ortalama alt ısı değerleri üzerinden bir verimlilik değerlendirmesi yapmak yanlış sonuçlara sebebiyet vermektedir. Bu nedenle homojenizasyon verimliliği, hedeflenen alt ısı değer aralığı içerisinde gerçekleşen satış miktarının toplam satış miktarına oranının yüzdesel ifadesi olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yapılan hesaplamalar sonucunda homojenizasyon verimi %77,63 olarak tespit edilmiştir.

ÇLİ'de Çan2 termik santrali için hazırlanan stokların hedeflenen alt ısı değeri 1.800 ila 2.300 kcal/kg arasında, ortalama 2150 kcal/kg'dir. 2021 yılında Çan2 termik santrali için hazırlanan stoklardan 1.699.557 ton kömür satışı gerçekleşmiş olup, satışın ortalama alt ısı değeri 2.153 kcal/kg olarak tespit edilmiştir. Bu değerler üzerinden homojenizasyon verimliliği %99,86 olarak hesaplanmıştır. Hedeflenen alt ısı değer aralığı içerisinde gerçekleşen satış miktarları üzerinden belirlenen homojenizasyon verimliliği ise %78,09'dur.

Verimlilik sonuçları incelendiğinde, homojenizasyon yönteminin ortalama stok kalorisinin belirlenmesi aşamasında etkin ve verimli bir şekilde uygulanabileceği ancak vardiya bazında değerlendirmenin yapıldığı uygulamalarda yöntemin geliştirilmesi gerekliliği değerlendirilmiştir.

#### 5. Öneriler

ÇLİ'de uygulanan ve oldukça pratik olan kalori homojenizasyon yönteminin uygulamada %78 civarında olan başarısını daha üst seviyelere çıkarabilmek için mevcut sistemin olumsuz yönlerinde aşağıda belirtilen iyileştirmelerin yapılması önerilmiştir;

**Stok sahasının düzenlenmesi:** Mevcut yöntemde yaklaşık 4.500 ton kömür tek bir numune ile temsil edilmekte ve numunenin alındığı yer ile ilgili de sadece stoğun hangi katından alındığı bilinmektedir. Gerek numune sayısının azlığı gerekse numune alınan

bölgenin tam olarak bilinmemesi homojenizasyon faaliyetlerinde kalori dalgalanmalarına neden olmaktadır. Bu durumu iyileştirmek için ÇLİ stok sahalarının depolama alanları göz önünde bulundurularak stok sahalarının 30x30 metrelik bölümlere ayrılması (koordinatlı olarak) ve her bir bölümün kodlandırılarak numunelerin bu bölümlerden alınması önerilmiştir. Bu doğrultuda numunenin temsil ettiği kömür miktarı 4.500 tondan 750 ton seviyelerine düşecek ve numunelerin alındığı bölümlerde kayıt altında tutulacaktır.

**Stoklama faaliyetleri:** Mevcut yöntemde açık ocak sahasından stok sahasına sevk edilen kömürlerin sevk ve organizasyonu günlük bazda sürekli olarak yapılmaktadır ki bu işlem oldukça meşakkatli bir sürece sahiptir. Bunun yerine önerilen değişiklikte stoktan numune alma sayısı artırıldığından dolayı stoğun belli bir seviyeye kadar açık ocak sahasından gelen rastgele kömürler ile doldurulması önerilmiştir. Burada mevcut yöntemdeki en yüksek 11-12 katlık stok seviyesi dikkate alındığında rastgele kömürler ile doldurulması gereken stok yüksekliğinin 7-8 kat arasında olması uygun olacaktır. Stoğun açık ocak sahasından gelen rastgele kömürler ile doldurulması süreci, kömür sevk ve organizasyon kısmında işletmecilik açısından bir rahatlama sağlayacaktır. Burada oluşacak boşluğun bir kısmının açık ocak sahasından stok sahasına gelen rastgele kömürlerden numune alınımının doğru takibi ile doldurulması elzemdir.

**Stok miktarının belirlenmesi:** Stok miktarının belirlenmesi süreci mevcut yöntemden gerçekleştirilebileceği gibi bilgisayar ve arazi uygulamaları aracılığıyla stok sahasının taban ve tavan yüzey okumaları üzerinden de gerçekleştirilebilir. Burada iki değer arasında tecrübeler dayalı olarak %10'dan fazla farklılığın oluşmayacağı öngörüldüğünden dolayı bu öneri açık bırakılmıştır.

**Stok kalori dağılımının belirlenmesi:** Stok sahasının kalori dağılımını belirlemek için 3 boyutlu bir bilgisayar programı ile kestirim yöntemlerinden faydalanılması önerilmiştir. Çalışma kapsamında bilgisayar programı olarak Surpac ve kestirim yöntemi olarak en yakın komşu kestirimi yöntemi önerilmiştir. Stok sahasının belirli noktalarından koordinatlı bir şekilde alınan numunelerin her bir kodlandırılmış bölge için ortalama alt ısı değeri programa tanıtılmalıdır. Burada ÇLİ'de yürütülen stoktan yükleme ve satışa esas kalorisinin belirlenmesi süreçleri göz önünde bulundurulduğunda, kompozitleme sürecinde her bir kodlandırılmış bölgeden alınan numune sonuçlarının ortalama alt ısı değerlerinin kullanılması değerlendirilmiştir. Numune sonuçlarının programa tanıtılması akabinde program üzerinden gerekli işlemler tamamlanarak stoğun kalori dağılımı belirlenmelidir.

**Stok kalori dağılımının ayarlanması:** Açık ocak sahasından rastgele gelen kömürler ile doldurulan

stoğun miktarı ve kalori dağılımı belirlendikten sonra stoğu hedeflenen kalori aralığına getirebilmek için gereken kömürün miktarı ve kalorisini hesaplanmalıdır. Hesaplama sonuçları akabinde belirlenen özelliklerdeki kömürler açık ocak sahasından mevcut yöntemde olduğu gibi selektif olarak üretilmeli ve stok sahasının ilgili kısımlarına nakledilmelidir. Belirlenen miktarlardaki kömürlerin stok sahasına sevki aşamasında yine kodlandırılmış bölgelerden numune alımı işlemi devam ettirilmeli ve stok nihai haline ulaştığında kodlandırılmış bölgelerden alınan numunelerin ortalama alt ısı değerleri kullanılarak nihai stoğun kalori dağılımı belirlenmelidir. Stok kalori dağılımının hedeflenen kalori aralığına ulaşması durumunda stoklama faaliyetleri sonlandırılarak satış faaliyetlerine başlanmalıdır. Aksi takdirde, stok kalori dağılımı hedeflenen kalori aralığına ulaşana kadar açık ocak sahasından selektif olarak kömürlerin üretimi, sevk ve organizasyonu çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir.

### Teşekkür

Yazar, ÇLİ personellerine teşekkür eder.

### Araştırmacıların Katkısı

Makale tek yazarlıdır.

### Çıkar Çatışması

Yazar tarafından çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynaklar

- Aydın, Ö., Pakdil, F. ve Aydın, Ö. (2010). Kömür kalorisini değişkenliğinin azaltılmasında proses yeterlilik analizi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(2), s.17.
- Benndorf, J. (2013). Application of Efficient Methods of Conditional Simulation for Optimising Coal Blending Strategies in Large Continuous Open Pit Mining Operations. *International Journal of Coal Geology*, 112, 141-153.
- Beretta, F.S., Costa, J.F.C.L., & Koppe, J.C. (2010). Reducing Coal Quality Attributes Variability Using Properly Designed Blending Piles Helped by Geostatistical Simulation. *International Journal of Coal Geology*, 84, 83-93.
- Çelik, A. (2022). *Elektrik tüketiminde su tulumbalarının önemi; Bir maden işletmesi örneği*, 6. Geleceğin Mühendisleri Uluslararası Öğrenci Sempozyumunda Sunulmuş Bildiri, Zonguldak.

- Marques, D., Costa, J.F., Ribeiro, D., & Koppe J.C. (2009). The Evidence of Volume Variance Relationship in Blending and Homogenisation Piles Using Stochastic Simulation. *South African Institute of Mining and Metallurgy*, 235-242.
- Okten, G., Kural, O., & Algurkaplan, E., Storage of Coal: Problems and Precautions. *Energy Storage Systems*, 2, 1-7.
- Petrocom. (2014). Erişim adresi : <http://www.petrocomenergy.com/eng/wbcr.phpvp>.
- Robinson, G.K. (2004). How much would a blending stockpile reduce variation?. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 74, 121-133.
- Sloss, L.L. (2014). Blending of Coals to Meet Power Station Requirements, *Technical Reports*, (Report no: CCC/238), IEA Clean Coal Centre, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33471.46242>.
- Taştekin, C. (2002). Kömüre dayalı termik santrallerde yakıt homojenizasyonu, *Madencilik Bülteni*, 64, 30-31.
- Tek, G. (2012). *Termik santral park sahasındaki kömürlerin santral üretimini maksimum yapacak biçimde kazanlara taşınmasının analizi* (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Xi-jin, G. (2009). Coal Blending Optimization of Coal Preparation Production Process Based on Improved GA. *Procedia Earth and Planetary Science*, 1, 654-660.
- Young, A., & Rogers, W.P. (2021). Modelling Large Heaped Fill Stockpiles Using FMS Data. *Minerals*, 11, 1-22.
- Yörükoğlu, M. (2017). Termik santraller için kömür harmanlama, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 56(3), 109-116.
- Zhao, S. (2016). *3D-Real Time Stockpile Mapping and Modelling with Accurate Quality Calculation Using Voxels*, (PhD Thesis). University of Adelaide, Adelaide.



**ASSESSING THE UNIVERSITY ON-CAMPUS TRANSPORT MODES: A PRELIMINARY STUDY**Furkan KELEŞ<sup>1\*</sup>, Hasan ÖZGÜL<sup>2</sup>, Berna HAKTANIRLAR ULUTAŞ<sup>3\*</sup><sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0009-0008-0331-5952><sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0009-0007-6580-4228><sup>3</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-0026-4925>**Keywords***Sustainable travel  
Questionnaire  
On-campus transport modes***Abstract**

*Transportation management on a university campus is critical to enable the efficient movement of students, faculty members, staff, and visitors as to minimize traffic congestion, environmental impact, and parking issues. The choice of on-campus transport mode can vary based on the campus's size, location, and available infrastructure. In this study, a questionnaire is introduced to assess the factors that may affect on-campus transport mode choice of students. A group of 60 undergraduate students who must travel to one of the furthest locations from the entrance gates of a campus is considered. The convenience of on-campus roads and the distance of the accommodation to the campus are examined. The results illustrated that weather conditions and air temperature were the critical factors for the transport mode choice, specifically for cycling and walking. The most preferred on-campus transport mode was determined as the ring line, especially during exam periods. Walking was only preferred if the student resides close to the campus. Both genders stated that the bicycle roads were narrow. This preliminary study has a potential to be applied for larger group of participants and is expected to inspire decisionmakers of the universities to improve the infrastructure of the university campus and help to develop cost efficient and sustainable travel options.*

**KAMPÜS İÇİ ULAŞIM ALTERNATİFLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: BİR ÖN ÇALIŞMA****Anahtar Kelimeler***Sürdürülebilir ulaşım  
Anket  
Kampüs içi ulaşım***Öz**

*Üniversite kampüsündeki ulaşım yönetimi, trafik sıkışıklığı, çevresel etki ve park sorunlarını en aza indirecek şekilde öğrencilerin, öğretim üyelerinin, personelin ve ziyaretçilerin etkin bir şekilde hareketini sağlamak için kritik bir öneme sahiptir. Kampüs içi ulaşım alternatifinin seçimi, kampüs büyüklüğü, konumu ve mevcut altyapı özelliklerine göre değişebilir. Bu çalışmada, öğrencilerin kampüs içi ulaşım tercihini etkileyebilecek faktörleri değerlendirmek üzere bir anket önerilmiştir. Çalışma, kampüs giriş kapılarından en uzak mesafelerden birine seyahat etmesi gereken 60 lisans öğrencisinden oluşan bir grup ile gerçekleştirilmiştir. Kampüs içi yolların uygun olup olmadığı ve konaklamanın kampüse uzaklığı incelenmiştir. Sonuçlar, ulaşım alternatifi seçiminde, özellikle bisiklete binme ve yürüme için, hava koşullarının ve hava sıcaklığının kritik faktörler olduğunu göstermiştir. Özellikle sınav dönemlerinde en çok tercih edilen kampüs içi ulaşım şekli ring hattı olarak belirlenmiştir. Yürümenin sadece öğrenci kampüse yakın ikamet etmesi durumunda tercih edildiği belirlenmiştir. Her iki cinsiyet de bisiklet yollarının dar olduğunu belirtmektedir. Bu ön çalışma, daha geniş bir katılımcı grubu için uygulanma potansiyeline sahiptir. Çalışmanın üniversite karar vericilerine kampüs altyapısını iyileştirme konusunda ilham vermesi ve uygun maliyetli ve sürdürülebilir ulaşım seçeneklerinin geliştirilmesine yardımcı olması beklenmektedir.*

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi

: 13.03.2023

Submission Date

: 13.03.2023

Kabul Tarihi

: 18.03.2024

Accepted Date

: 18.03.2024

\* Sorumlu yazar: [bhaktan@ogu.edu.tr](mailto:bhaktan@ogu.edu.tr)<https://doi.org/10.31796/ogummf.1263319>Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

On-campus travel modes refer to the various transportation alternatives that individuals use to move around a college or university campus. In addition to environmental considerations, personal preferences, and specific campus policies and regulations may influence how individuals choose to get around on campus.

The number universities that focus on providing convenient and sustainable transportation options to support their students' needs are increasing. Transportation options, transportation planning, and issues related to infrastructure are considered and this study aims to address the following research questions for the course and exam periods:

To examine the difference for the factors effecting the transport mode choice based on gender,

To examine the difference for the convenience of on-campus roads and paths based on gender,

To examine the difference for the choice of on-campus travel mode based on the distance of the accommodation to the campus,

To assess the possible relationship between the choice of transport mode and factors for the choice.

First, a literature review is conducted to identify the existing questionnaires and scales that can be related to the research objectives. Then, a theoretical framework is developed to outline the variables. The pilot testing is conducted on a small sample of participants. The feedback and insights from the participants confirmed that there is no problem for the question wording, response options, or question sequencing. The questions are designed as to ensure content validity and are related to the research objectives. The data is collected by use of an online questionnaire that includes 20 questions. The students who volunteered to participate this study completed the questionnaire during April and May 2022. After data analysis, response distributions, correlations, and other related statistics are examined. Findings, research limitations, and feedback to improve the questionnaire and the study are summarized.

The study is structured as flows. The up-to data accessible literature related with the to-campus and on-campus transportation modes are summarized in the second section. In the method section, details of the study area, current transport modes, and the information for the questionnaire is given. Statistical analysis is provided in the fourth section and the results are discussed in the following section. Final section concludes the study and provide suggestions for the future studies.

## 2. Literature Review

There are several studies in the literature considering university campus and on-campus transportation. The most recent papers on this topic are summarized in this section.

Wilson, Vairo, Bopp, Sims, Dutt, and Pinkos (2018) examines 17 universities in United States to increase student and staff active commuting on cycling. Hasan, Abbas, Kwayu, and Oh (2019) identifies the sociocultural, environmental, and transportation factors for walking and cycling to and from the university in Iraq. Since, it is not common in the society, females have reported that they feel embarrassed when walking and cycling. On the other hand, males don't prefer because of their age and social status in the society. Gocer and Gocer (2019) evaluates the transportation alternatives to a private university campus in Istanbul. Duration of travel for the students and staff to the campus is examined by considering the capacity and fuel consumption. The survey also included questions to obtain opinion of students and staff on-campus layout and open space. Capasso da Silva and Rodrigues da Silva (2020) aim to identify how violence-related aspects influenced transport mode choice on trips to the Sao Carlos campus of the University of Sao Paulo, Brasil. The online survey results confirmed that the crimes had occurred on weeknights and women felt unsafe more than men.

Hamad, Htun, and Obaid (2021) focuses on the transportation to a university campus in United Arab Emirates. Students, academic and administrative staff, visitors were defined as a group, and data on the mode of transportation, distance and duration of transportation were compiled with the help of a survey. Among the factors affecting sustainable transportation alternatives in the short and long term, the importance of options such as walking and bicycle use is emphasized. Rerat (2021) considers the staff and students in a university in Switzerland to assess the transportation problem to the campus. The effect of age, gender, income level, travel distance on transportation preference is examined. Results suggest that the number and capacities of public transportation vehicles should be arranged considering the start times of the courses. Also, supporting car-sharing and promoting cycling and walking instead of using two-wheeled motor vehicles. Crist et al. (2021) studies the active commute mode, transport physical activity, and intention to use light rail transit at The University of California in San Diego, USA. Results state that staff are less likely to actively commute, compared to faculty or students and older age is associated with decreased odds of active commuting. Sgarraa, Metaa, Saporitob, Persiaa, and Usami (2022) applies a survey with students and personnel to identify perception and attitude for different modes of transportation to improve the mobility around the

university campuses. Results favor the increase in the use of bicycles and minimizing the vehicles with high emission values.

Adenle, Chan, Sun, and Chau (2021) assess and prioritizes the sustainable and healthy campus design and sustainability factors in Nigeria. Balseroa, Lamartya, and Monzóna (2021) aims to attract attention to the environmental pollution in Madrid, Spain. Therefore, a survey is applied to the students and personnel of six universities to gather data of socioeconomic level, mobility models, and effect of Covid-19. It is proven that the mobility has decreased between 2018-2021 due to Covid-19. Increasing the number of ring lines in the campuses and limiting the number of private vehicles is suggested to increase mobility.

Cadena, Andradeb, Meirac, and Douradod (2020) investigate the mobility act in Brasil, attract attention to the sustainable in and on campus travel, and importance of bicycle use. Ridhosari and Rahman (2020) evaluates the carbon footprint and emission sources based on a university in Indonesia. Data related to transportation (mode of transportation, distance travelled, and emission per km) is gathered by a survey. Eccarius, Leung, Shen, Burke, and Lu (2021) studies the use of electric supported bicycles (pedelec, e-bike) for university campuses in different locations and concludes that the university students can adopt shared e-bikes. Sun and Duan (2021) point the low service quality as the main reason for the failed campus bike-sharing practice in a university campus in China.

Sanders, Branion-Calles, and Nelson (2020) applies a survey to students and personnel of Arizona State University. The questions are constituted as safety requirements, advantages, disadvantages, age, gender, and travel types of the users. Statistical analysis results attract attention to improving the e-scooter safety, tracking the maintenance, and supporting e-scooter use to decrease the emission. Sanders, da Silva Brum-Bastos, and Nelson (2022) states that use of e-scooter may reduce physical active travel but healthier than driving.

Taylor and Mitra (2021) focus on the commute satisfaction of students to the campus and evaluate the attendance to the classes and academic success. In another novel study, Bai, Cao, Wang, Liu, and Wang (2022) confirm that the street greenery and the active travel behavior of students on closed university campuses in China is positively associated.

Based on the accessible literature, it can be stated that surveys are designed and utilized to take the view of personnel, staff, or students in the university to evaluate the access to the campus or on-campus travel. These studies mainly focus on various issues to encourage walking, cycling, to enable safe on-campus travel, to minimize fuel consumption for sustainable travel, or to identify the most convenient travel mode. However,

there is currently no questionnaire to cover all related issues for the on-campus travel and obtain the perception of individuals on the campus.

This study aims to define and identify possible factors that may affect students' choice for on-campus transport modes, assess the convenience of roads and paths on the campus, and evaluate the effect of the travel distance to the campus.

### 3. Method

An online questionnaire is designed for the purpose of this study to attract attention to the factors that influence students' travel the modes of commuting. An institutional approval of the study protocol (E-81922757-199-329687) was obtained from Eskisehir Osmangazi University Science and Engineering Ethical Commission. Written permission was obtained from university. Research and publication ethics are strictly followed in this study. Informed consent was obtained from all participants before the study. 60 undergraduate Industrial Engineering students from ESOGU Faculty of Engineering and Architecture answered the 20 questions in the questionnaire that took about 5 min during April and May 2022.

#### 3.1. Study Area

This research investigates commuting behavior of students travelling to Eskisehir Osmangazi University (ESOGU), located in Eskisehir, Turkey. The summers are warm, dry, and clear and the winters are very cold, snowy, and partly cloudy in Eskisehir. During May and October average temperatures fall between 20 and 26 °C. The coldest month is January, with an average high-temperature of 3.8°C and an average low-temperature of -3.7°C. November, December, and January are months with snowfall. The weather conditions usually effect the transportation alternatives such as walking and cycling to and from the campus.

ESOGU has five campuses in Eskisehir Province (Meselik, Bademlik, Eskisehir Organized Industrial Site, Ali Numan Kirac) and three campuses in the districts of Eskisehir (Sivrihisar, Mahmudiye, Cifteler).

The buildings of Faculty of Engineering and Architecture, Faculty of Dentistry, Faculty of Education, Faculty of Arts and Sciences, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Faculty of Law, Faculty of Theology, Faculty of Art and Design, Faculty of Health Sciences, Faculty of Medicine, Faculty of Tourism, Vocational School of Health Services, Institute of Educational Sciences, Institute of Science, Institute of Health Sciences, Institute of Social Sciences, and Department of Foreign Languages are located in Meselik Campus that is established on an area of approximately 160 hectares.

This study considers the on-campus transportation from and to the area where the Engineering Departments of the Faculty of Engineering and Architecture with three training blocks, Dean's blocks and two separate groups of laboratories are located. Mechanical Engineering, Geological Engineering, Mining Engineering Departments are in M2 Block, Industrial Engineering, Chemical Engineering, Metallurgical and Materials Engineering Departments are in M3 Block, and Computer Engineering, Electrical and Electronics Engineering, and Civil Engineering Departments are in M4 Block (ESOGU, Faculty of Engineering and Architecture, 2022). Two main Gates are represented in Figure 1 that are approximately 2 and 1.7 km away from the faculty in concern.



Figure 1. Distance Representation Between the Main Gates and the Engineering Faculty

### 3.2. Transport Modes

Before the 2021-2022 Fall term (Covid-19 pandemics), there were several distinct travel alternatives within the ESOGU Meselik Campus.

**Campus Trolley:** ESOGU Meselik Campus had a 1200-meter-long train line with a 600 mm rail span that traveled for student and personnel transportation between 2003 and 2006. The locomotives and wagons used in the operation date from 1918 and were used on the legendary Baghdad railway. Historical locomotives and wagons, which were one of the most important symbols of transportation by going many kilometers years ago, are a background for various photos of students today. And a few wagons still serve as cafes today.

**Bicycle:** In 2014, in order to encourage the community to move for a healthy life and to make the bicycle, one of the healthiest and most fun tools of movement, a part of daily life, a Social Responsibility Project was realized. Importance of an active life was emphasized at the same time by providing transportation within the campus with shared bicycles located at the Yellow Bicycle stand. Within the scope of this project, it is stated that more than 1500 students have been reached at ESOGU. However, the project was terminated.

The students can transport on the campus with their own or shared bicycles. The bicycle routes are divided into one lane between the driveway and the pathway.

**Public transport:** Before the Covid-19 pandemics, ESOGU Meselik Campus was accessible from the city center by tram, municipal buses and minibuses. However, based on the decisions taken, as of 2020, municipal buses are prohibited from entering the Meselik Campus.

After the 2021-2022 Fall semester, due to the restrictions imposed by the pandemic, it is observed that on campus transportation is widely carried out with the use of private vehicles, ring line, and shared vehicles.

**Private Vehicle:** According to the ESOGU Traffic Directive, students, staff, or faculty members who will enter the places under the administration of the university by private vehicle are required to obtain a Vehicle Entry Card to use parking areas, enable security, and access control.

**Ring Line:** A shuttle service is provided for students and staff to provide easy access to the faculties in Meselik Campus. The minibus departure from the entrance gate of the Faculty of Medicine (Gate A) and enables on-campus transportation on the predetermined route.

**e-Scooter:** At the ESOGU Meşelik Campus, it is also possible to benefit from the e-scooter service provided by different brands.

### 3.3. Data

This preliminary study aims to assess the transport modes in ESOGU Meselik Campus. Among the engineering departments, Industrial Engineering department can be considered as one of the furthest locations to the main entrances of the campus. Therefore, target population is determined as the 500 undergraduate Industrial Engineering students who are enrolled to the program. To represent the population, with 90% level of confidence and 10% error, ideal sample size is calculated as 60. The answers of students who volunteered for the study are considered. The frequency of use of the preferred transport modes (walking, bicycle, motorcycle, car, e-scooter) and the factors that influence their preference is examined.

### 3.4. Variables

The questionnaire that is developed for this study is given in the Appendix that includes 20 questions. The variables are briefly described in Table 1. Main sociodemographic variables include the age and gender of the participants. The preference of ten transport modes is investigated. The options such as bicycle, e-scooter, motorbike, and car are detailed based on the ownership. Since motor vehicles require certain license, a question is included to determine the license ownership and type. The travel distance and the time interval that is required to travel to the campus during course and exam periods are identified.

Table 1. Variable Descriptions

Variable	Description
Age	17-19
	20-22
	23-25
	26 and above
Gender	Female, Male
Transport modes	Walking, Bicycle (owned), Bicycle (shared), E-scooter (owned), E-Scooter (shared), Motorbike (owned), Motorbike (shared), Car (owned), Car (shared), Minibus (Ring Line)
Motor vehicle license	Does not have a license A1, A2, A, B
Travel distance to the campus	Less than 3 km
	Between 3-5 km
	Between 6-10 km
	Between 11-15 km More than 16 km
Factors that affect choice of transport mode	Easy access, Speed, Cost, Social distancing, Distance to be covered, Air temperature, Weather conditions, Emission values

### 4. Statistical Analysis

Based on the Female (41.66%), Male (58.33%) students' data, related statistical analysis (ANOVA, t-test, and correlation analysis) are conducted using SPSS. %50 of the participants is aged between 20-22 and %43.3 between 23-25. Students who are older than 26 are %5 and lower than 19 are %1.719. The analysis revealed no significant difference between the age groups therefore not included.

#### 4.1. Analysis of Factors for the Choice of Transport Mode based on Gender

To examine the difference for the factors effecting the transport mode choice based on gender, following hypothesis and alternative hypothesis are defined:

H0: There is no significant difference for transport mode choice factors between genders.

H1: That there is a significant difference for transport mode choice factors between genders.

The hypothesis is separately tested for course and exam periods and the results are summarized in Table 2. During the course periods, the factors such as easy access, travel distance, air temperature, weather conditions, and emission values illustrate a significant difference based on gender. On the other hand, there is no significant difference for the transport model choice for the factors speed, cost, and social distance based on gender.

Table 2. Analysis of Factors for the Choice of Transport mode based on Gender

Course Periods						
Variables	Groups	$\bar{X}$	SS	t	sd	p
Easy access	F	4.48	0.510	2.823	48.467	.007
	M	3.83	1.224			
Speed	F	4.32	0.748	1.769	58.000	.082
	M	3.89	1.051			
Cost	F	4.36	0.700	1.545	58.000	.128
	M	3.94	1.211			
Social distance	F	2.88	1.092	1.837	58.000	.071
	M	2.31	1.231			
Travel distance	F	3.80	1.000	2.265	58.000	.027
	M	3.11	1.255			
Air temperature	F	4.20	0.707	3.161	55.639	.003
	M	3.40	1.241			
Weather conditions	F	4.36	0.810	2.485	58.000	.016
	M	3.66	1.235			
Emission value	F	3.28	1.021	2.753	57.331	.008
	M	2.46	1.291			
Exam Periods						
Variables	Groups	$\bar{X}$	SS	t	sd	p
Easy access	F	4.56	0.583	1.515	58.000	.135
	M	4.20	1.079			
Speed	F	4.60	0.577	1.037	57.276	.304
	M	4.40	0.914			
Cost	F	3.68	1.215	0.626	57.366	.534
	M	3.46	1.540			
Social distance	F	2.76	1.200	1.395	58.000	.168
	M	2.29	1.363			
Travel distance	F	3.96	0.889	1.101	57.011	.275
	M	3.63	1.437			
Air temperature	F	3.96	1.098	2.005	57.960	.050
	M	3.29	1.506			
Weather conditions	F	4.12	1.054	2.367	57.783	.021
	M	3.37	1.395			
Emission value	F	3.28	0.980	2.937	57.963	.005
	M	2.37	1.416			

During the exam periods, the factors such as air temperature, weather conditions, emission values illustrate a significant difference based on gender. On the other hand, there is no significant difference for the transport model choice for the factors easy access, speed, cost, social distance, and travel distance based on gender.

**4.2. Assessing the Convenience of Road and Paths on-campus based on Gender**

The students were asked to assess the driveway (Q.16), bicycle path (Q.17), sidewalks (Q.18) in the questionnaire in separate questions. The answers were structured as to fit five scale; most convenient (i.e., I don't have any problems) to least convenient (i.e., I always have problems).

To examine the difference for the convenience of on-campus roads and paths based on gender, following hypothesis and alternative hypothesis are defined:

H0: There is no significant difference for the convenience of motor vehicle road between genders.

H1: That there is a significant difference for motor vehicle road between genders.

The hypothesis is separately tested for bicycle paths and sidewalks Table 3 illustrates that there is no significant difference for assessing the convenience of road and paths based on gender. Female and male participants have stated that they sometimes have problems due to the crowded driveways. The participants have stated that they sometimes have problems because the bicycle roads are too narrow.

There is a significant difference between genders for the convenience of pathways on-campus. Female state that they sometimes have problems due to the narrow pedestrian ways, on the other hand male participants complain about crowded pathways.

Table 3. Assessment of Road and Paths On-campus based on Gender

Variables	Groups	$\bar{X}$	SS	t	sd	p
Vehicle road	F	2.52	1.418	0.091	58.000	.928
	M	2.49	1.463			
Bicycle road	F	1.84	1.106	-411	58.000	.682
	M	1.97	1.294			
Pathway	F	2.12	1.130	-1.126	56.839	.265
	M	2.49	1.138			

**4.3. Correlation Analysis for Transport Mode and Choice Factors**

Correlation analysis is conducted to assess the possible relationship between the choice of transport mode and factors for the choice. The course and exam periods are considered separately.

Table 4 summarizes the correlation analysis results for the course period. The results illustrate that there is a weak and positive relationship between easy access, speed, cost, social distance, travel distance, air temperature, and weather conditions for the walking alternative. On the other hand, there is a moderate and positive relationship between walking and emission value.

There is a weak and positive relationship between the easy access, cost, air temperature, and weather conditions for the bicycle (own) and bicycle (shared) transport mode. Also, there is a weak and negative relationship between the speed, social distance, travel distance, and emission value.

The relationship between the minibus (ring line on campus) and the factors affecting transportation preference was examined by correlation test. It is seen that there is a weak and positive relationship between the factors such as easy access, cost, social distance, travel distance, air Temperature, weather condition, and emission value. It is seen that there is a moderate and positive relationship between the minibus preference and the speed factor.

Table 5. summarizes the correlation analysis results for the exam period. The results illustrate that there is a moderate and negative relationship between easy access, speed, and emission values for the walking alternative. On the other hand, there is a weak and positive relationship for the cost and social distance. A weak and negative relationship is identified with the travel distance, air temperature, and weather conditions.

There is a weak and positive relationship between the easy access, speed, cost, social distance, travel distance, air temperature, weather, and emission value with the bicycle (owned). There is a weak and negative relationship between the easy access, speed, air temperature, weather, and emission value factors and shared bicycle mode. It is seen that there is a weak and positive relationship for the cost, social distance, and travel distance.

When the minibus transport mode and the factors affecting the travel preference was examined, it is concluded that the factors easy access, and speed have a moderate and positive relationship, cost, social distance, and air temperature have a weak and negative relationship, travel distance, weather conditions, and emission values have a weak and positive relationship.

Table 4. Correlation Analysis for Travel Factors and Choice of Transport Mode During Course Period

	Easy access	Speed	Cost	Social distance	Travel distance	Air temperature	Weather conditions	Emission value
Walking	.005	.004	.033	.080	.143	.203	.204	.410*
Bicycle (own)	.058	-.10	.029	-.065	-.040	.065	.102	-.039
Bicycle (shared)	-.088	-.085	-.092	.063	.000	-.036	.121	.146
E-Scooter (own)	-.107	-.016	-.025	.269*	.111	.053	.128	.321*
E-Scooter (shared)	-.052	.025	-.003	-.023	.071	-.059	.051	.063
Motorbike (own)	-.199	-.209	-.200	.070	-.063	-.123	.091	.255*
Motorbike (shared)	-.061	-.057	-.029	.067	.037	-.004	.078	.132
Car (own)	-.022	-.010	.039	.020	.056	-.061	.018	.065
Car (shared)	.116	.168	.154	.120	.040	.050	.107	.000
Minibus	.295*	.344*	.213	.079	.275*	.062	.146	.088

\*Correlation is significant at the 0.01 level

Table 5. Correlation Analysis for Travel Factors and Choice of Transport Mode During Exam Period

	Easy access	Speed	Cost	Social distance	Travel distance	Air temperature	Weather conditions	Emission value
Walking	-.351*	-.308*	.197	.131	-.057	-.049	-.137	-.046
Bicycle (own)	.059	.020	.235	.114	.180	.107	.121	.055
Bicycle (shared)	-.120	-.173	.121	.018	.005	-.053	-.013	-.023
E-Scooter (own)	-.193	-.246	.042	.052	-.081	-.149	-.069	.025
E-Scooter (shared)	-.239	-.107	-.062	-.049	-.049	-.169	-.163	-.027
Motorbike (own)	-.193	-.246	.042	.052	-.081	-.149	-.069	.025
Motorbike (shared)	-.041	-.091	.189	-.055	.089	-.031	-.016	-.067
Car (own)	-.129	-.142	.183	.202	.043	-.062	.086	.030
Car (shared)	.006	.031	.076	.102	.075	.072	.096	-.061
Minibus	.326*	.409*	-.121	-.182	.073	-.001	.146	.090

\*Correlation is significant at the 0.01 level

#### 4.4. Assessing the Choice of Travel Mode and the Travel Distance to the Campus

To examine the difference for the choice of travel mode based on the distance of the accommodation to the campus, following hypothesis and alternative hypothesis are defined:

H0: There is no significant difference for the travel distance between the choice of travel modes.

H1: That there is a significant difference for the travel distance between the choice of travel modes.

The results of Sig. (Test of Homogeneity of Variances) illustrate that some of the values are not homogenous. Since, Sig. (ANOVA) values are larger than 0.05, there is not a significant difference (Table 6). The data for course period and exam period are assessed separately.

Table 6. Assessing the Transport Mode and the Distance to the Campus

Transport mode	Course Period		Exam Period	
	Sig. (Test of Homogeneity of Variances)	Sig. (ANOVA)	Sig. (Test of Homogeneity of Variances)	Sig. (ANOVA)
Walking	.005	.774	.805	.962
Bicycle (own)	.006	.248	.076	.693
Bicycle (shared)	.000	.282	.006	.474
E-Scooter (own)	.541	.952	.023	.614
E-Scooter (shared)	.999	.998	.175	.870
Motorbike (own)	.113	.788	.023	.614
Motorbike (shared)	.014	.587	.006	.512
Car (own)	.000	.249	.050	.571
Car (shared)	.006	.426	.049	.655
Minibus	.101	.816	.067	.402

As Post Hoc tests, Games-Howell analysis is applied. Significant difference is identified only for one transport mode (Table 7). The students' preference of walking to the campus is significantly different based on the distance to the campus ( $F=.447$ ;  $p<.05$ ). Students prefer to walk in shorter distances during exam periods. Based on Games-Howell tests for the exam period, there was no significant difference for the travel distance between the choice of transport modes.

Table 7. Games-Howell Results

Transport mode	Distance to campus	N	X	F
Walking	Between 3-5 km	16	3.44	.447
	More than 16 km	3	4.00	
Transport mode	I (Distance to campus)	J (Distance to campus)	Mean Difference (I-J)	
Walking	Between 3-5 km	More than 16 km	-.437*	

\*Mean difference is significant at the 0.05 level

## 5. Discussion

Chillón, Molina-García, Castillo, and Queralt (2016) confirms that university students living closer to university are more likely to active commute and the threshold distances that students walk and cycle to university are determined as 2.6 km and 5.1km, respectively. In this study, the travel distance to campus was only significant for walking. It was concluded that students walk only if they live close (3-5 km) to the campus.

The travel behavior of university students in different countries. The results of this study confirm that students are not keen on cycling in the campus. Although there is a bicycle lane in the campus, students find the lanes to narrow for cycling. Considering the weather conditions and air temperature in Eskisehir, walking and cycling were not the preferred transport modes. On the other hand, Nahal and Mitra (2018) indicate that women and transit pass holders are less likely, while students rather than staff are more likely to cycle during winter when travelling to the Ryerson University in Toronto, Canada. Nordfjærna, Egseta, and Mehdizadeh (2019) focuses on 41 university students in Norway and evaluate the transportation in two campuses. Results show that use of public transportation and private vehicle is more common in one of the campuses where, bicycle and walking on the other campus during winter.

The questions (Q.7, Q.10) were included to the questionnaire includes for the time intervals that students need to travel on-campus during the course and exam periods. Majority of the students stated that they never traveled on-campus during the time periods 19:00-20:00 and 20:00-21:00. In the following studies, this question may be revised as to define major time periods (i.e., Morning 8:00-11:00, Noon 11:01-13:00,

Afternoon 13:01-17:00, Evening 17:01-21:00). By this means, the choice of on-campus travel mode can be assessed based on the time periods.

The question (Q.13) was included to the questionnaire to get the opinion on shared vehicles. Among the students, 32% stated that they have never heard about shared vehicles and 30% stated that they have used shared vehicles for distances shorter than 5 km. The students are asked to evaluate the shared vehicle apps are in the questionnaire (Q.14). In line with the previous question, students stated that they have no idea (35%) and find the app as useful (33%).

## 6. Conclusions

University campuses can be built in areas relatively far from residential centers, based on land costs, governmental supports, etc. This study aims to identify the preferred transport modes (i.e., walking, bicycle, motorcycle, e-scooter, car, ring line) in the campus. However, further analysis is also made to assess the distance to the campus. A questionnaire is designed to gather the students' view. A group of engineering students are selected for the purpose of the study. The questionnaire also includes questions related with motor vehicle license ownership. The transport mode preferences are discussed based on course and exam periods. The choice of travel alternatives is related to several factors (i.e., cost, social distance, travel distance, emission values, etc.). Weather conditions and air temperature was identified as critical factors for the transport mode preference. Although, the ring line was the most preferred alternative among others especially during exam periods, students request lower costs for this alternative.

The cost and speed factors are related to almost every alternative during the course and exam periods. The social distance has become more important during and after pandemics. Therefore, the number of students for each minibus in the ring line and the transfer schedule should be considered in detail.

Cycling and walking may help individuals to keep fit and sustain their personal health. Therefore, new projects for the on-campus transportation must be put in action and supported by the decision makers of the university to ease use of bicycle by providing bike racks for secure parking, bicycle-sharing programs, or rental services. Being a low-cost solution, walking should be promoted by enabling pedestrian-friendly sidewalks, crosswalks, and well-maintained paths. The golf carts that are used in some universities for campus maintenance and security personnel can be considered as an alternative for on-campus transportation by the students.

In future studies, the study can be repeated with more participants as to get the perception of academics and other university personnel. The factors that affect the



choice of transport models can be assessed based on different faculty members. The emission values of the motor vehicles can be considered to take actions for achieving a carbon-free campus. Further analysis can be made for different hour period of the day. Also, safety issues can be discussed especially for bad weather and evening time.

### Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

### Contribution of Researchers

Furkan KELEŞ and Hasan ÖZGÜL: Conceptualization, Data gathering, Statistical analysis, Writing original draft.

Berna HAKTANIRLAR ULUTAŞ: Conceptualization, Methodology, Validation, Supervision, Writing, Reviewing, and Editing.

### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

### References

- Adenle, Y. A., Chan E. H. W., Sun, Y., & Chau, C. K. (2021). Assessing the relative importance of sustainability indicators for smart campuses: A case of higher education institutions in Nigeria. *Environmental and Sustainability Indicators*, 9, 100092. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100092>
- Bai, Y., Cao, M., Wang, R., Liu, Y., & Wang, S. (2022). How street greenery facilitates active travel for university students. *Journal of Transport & Health*, 26, 101393. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2022.101393>
- Balseroa, L., Lamartya, K., & Monzóna, A. (2021). Mobility to university campuses in the Madrid Community: Diagnosis and bases for a sustainability strategy. *Transportation Research Procedia*, 58, 511-518. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.11.068>
- Cadena, R. P., Andradeb, M. O., Meirac, L. H., & Douradod, A. B. F. (2020). The pursuit of a sustainable and accessible mobility on university campuses. *Transportation Research Procedia*, 48, 1861-1880. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.220>
- Capasso da Silva, D. & Rodrigues da Silva, A. N. (2020). Sustainable modes and violence: Perceived safety and exposure to crimes on trips to and from a Brazilian university campus. *Journal of Transport & Health*, 16, 100817. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.100817>
- Chillón, P., Molina-García, J., Castillo, I., & Queralt, A. (2016). What distance do university students walk and bike daily to class in Spain. *Journal of Transport & Health*, 3, 315-320. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jth.2016.06.001>
- Crist, K., Brondeel, R., Tuz-Zahra, F., Reuter, C., Sallis, J. F., Pratt, M., & Schipperijn, J. (2021). Correlates of active commuting, transport physical activity, and light rail use in a university setting. *Journal of Transport & Health*, 20, 100978. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.100978>
- Eccarius, T., Leung, A., Shen, C. W., Burke, M., & Lu, C. C. (2021). Prospects for shared electric velomobility: Profiling potential adopters at a multi-campus university. *Journal of Transport Geography*, 96, 103190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103190>
- ESOGU, Faculty of Engineering and Architecture, <https://mmf.ogu.edu.tr/Sayfa/Index/19> (accessed on 26 January, 2023).
- ESOGU, Campus Layout <https://www.ogu.edu.tr/Icerik/Index/8/yerlesim-ve-ulasim> (accessed on 26 January, 2023).
- ESOGU, Traffic Instructions, <https://oidb.ogu.edu.tr/Sayfa/Index/55/eskisehir-osmangazi-universitesi-trafik-yonergesi> (accessed on 26 January, 2023).
- Gocer, O., & Gocer, K. (2019). The effects of transportation modes on campus use: A case study of a suburban campus. *Case Studies on Transport Policy*, 7, 37-47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.11.005>
- Hamad, K., Htun, P. T. T., & Obaid, L. (2021). Characterization of travel behavior at a university campus: A case study of Sharjah University City, UAE. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 12, 100488. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100488>
- Hasan, R. A., Abbas, A. H., Kwayu, K. M., & Oh, J. (2019). Role of social dimensions on active transportation and environmental protection: A survey at the University of Samarra, Iraq. *Journal of Transport & Health*, 14, 100564. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.05.003>
- Nahal, T., & Mitra, R. (2018). Facilitators and barriers to winter cycling: Case study of a downtown university in Toronto, Canada. *Journal of Transport & Health*, 10, 262-271. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.05.012>

- Nordfjærna, T., Egseta, K. S., & Mehdizadeh, M. (2019). "Winter is coming": Psychological and situational factors affecting transportation mode use among university students. *Transport Policy*, 81, 45-53. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.06.002>
- Rerat, P. (2021). A campus on the move: Modal choices of students and staff at the University of Lausanne, Switzerland. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 12, 100490. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100490>
- Ridhosari, B., & Rahman, A. (2020). Carbon footprint assessment at Universitas Pertamina from the scope of electricity, transportation, and waste generation: Toward a green campus and promotion of environmental sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119172>
- Sanders, R. L., Branion-Calles, M., & Nelson, T. A. (2020). To scoot or not to scoot: Findings from a recent survey about the benefits and barriers of using E-scooters for riders and non-riders. *Transportation Research Part A*, 139, 217-227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.07.009>
- Sanders, R. L., da Silva Brum-Bastos, V., & Nelson, T. A. (2022). Insights from a pilot investigating the impacts of shared E-scooter use on physical activity using a single-case design methodology. *Journal of Transport & Health*, 25, 101379. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2022.101379>
- Sgarraa, V., Metaa, E., Saporitob, M. R., Persiaa, L., & Usami, D. S. (2022). Improving sustainable mobility in university campuses: the case study of Sapienza University. *Transportation Research Procedia*, 60, 108-115. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.015>
- Sun, S., & Duan, Z. (2021). Sustaining the development of campus bike-sharing: A lesson from the unsuccessful practice in Dalian Maritime University, China. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126483. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126483>
- Taylor, R., & Mitra, R. (2021). Commute satisfaction and its relationship to post-secondary students' campus participation and success. *Transportation Research Part D*, 96, 102890. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102890>
- Wilson, O., Vairo, N., Bopp, M., Sims, D., Dutt, K., & Pinkos, B. (2018). Best practices for promoting cycling amongst university students and employees. *Journal of Transport & Health*, 9, 234-243. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.02.007>
- Yellow Bicycle Social Responsibility Project, <https://aktifyasam.org.tr/proje/eti-sari-bisiklet/#:~:text=Eti%20Sar%C4%B1%20Bisiklet%20Sosyal%20Sorumluluk,Ya%C5%9Fam%20Derne%C4%9Fi%20i%C5%9Fbirli%C4%9Fiyle%20hayata%20ge%C3%A7irildi> (accessed on 26 January, 2023).

**APPENDIX: SURVEY QUESTIONS**

Please select the appropriate option for the following questions.

1. Gender  
 F  M

2. Age range  
 17-19  20-22  23-25  26 and above

3. Motor vehicle license: Check the appropriate option(s)  
 I don't have a driver's license  
 A1  A2  A  B

4. Rate the distance of the accommodation to the campus, the time you attended face-to-face classes.  
 Less than 3 km  
 Between 3-5 km  
 Between 6-10 km  
 Between 11-15 km  
 More than 16 km

5. Score the frequency of use of shared e-scooters for **off-campus** transportation.

Scooter Brand	Never 1	Rarely 2	Sometimes 3	Often 4	Always 5
X					
Y					
Z					
Other					

6. Score the frequency of use of shared e-scooters for **on-campus** transportation.

Scooter Brand	Never 1	Rarely 2	Sometimes 3	Often 4	Always 5
X					
Y					
Z					
Other					

7. Score the time intervals you need on-campus transportation most **during the course period.**

Time intervals	Never 1	Rarely 2	Sometimes 3	Often 4	Always 5
7:00-8:00					
8:00-9:00					
9:00-10:00					
10:00-11:00					
11:00-12:00					
12:00-13:00					
13:00-14:00					
14:00-15:00					
15:00-16:00					
16:00-17:00					
17:00-18:00					
18:00-19:00					
19:00-20:00					
20:00-21:00					

8. Score the frequency of your transportation on campus **during the course period.**

Mode of Transportation	Never 1	Rarely 2	Sometimes 3	Often 4	Always 5
Walking					
Bicycle					
Bicycle (s)					
E-Scooter					
E-Scooter (s)					
Motorbike					
Motorbike (s)					
Car					
Car (s)					
Ring Line					

9. Score the factors that affect your choice of transportation on campus **during the course period.**

Mode of transportation	Not important at all 1	Not important 2	Neutral 3	Important 4	Very important 5
Easy access					
Speed					
Cost					
Social Distancing					
Travel Distance					
Air Temperature					
Weather Conditions					
Emission Values					

10. Score the time intervals you need **on-campus** transportation **during the exam period.**

Time intervals	Never 1	Rarely 2	Sometimes 3	Often 4	Always 5
7:00-8:00					
8:00-9:00					
9:00-10:00					
10:00-11:00					
11:00-12:00					
12:00-13:00					
13:00-14:00					
14:00-15:00					
15:00-16:00					
16:00-17:00					
17:00-18:00					
18:00-19:00					
19:00-20:00					
20:00-21:00					

11. Score the frequency of your transportation on campus **during the exam period.**

Mode of Transportation	Never 1	Rarely 2	Sometimes 3	Often 4	Always 5
Walking					
Bicycle					
Bicycle (s)					
E-Scooter					
E-Scooter (s)					
Motorbike					
Motorbike (s)					
Car					
Car (s)					
Ring Line					

12. Score the factors that affect your choice of transportation on campus **during the exam period.**

Mode of transportation	Not important at all 1	Not important 2	Neutral 3	Important 4	Very important 5
Easy access					
Speed					
Cost					
Social Distancing					
Travel Distance					
Air Temperature					
Weather Conditions					
Emission Values					

13. Your opinion on shared vehicles.
- o I've never heard of it before.
  - o I used it for short distance (less than 5 km) transportation purposes.
  - o I used it for long distance (more than 5 km) transportation purposes.
  - o I used it for short distance (less than 5 km) to try it out (for entertainment purposes).
  - o I used it over a long distance (more than 5 km) to try it out (for entertainment purposes).

14. Evaluate the use of applications for shared vehicles.
- o I've never used it before. I have no idea.
  - o I think the app is not useful at all.
  - o Neutral. Some of the menus are handy.
  - o I think the app is useful.
  - o I think the app is very useful.

15. Which ways do you prefer/would you prefer during the use of shared vehicles in ESOGU Meselik Campus?

Road type	Never 1	Rarely 2	Sometimes 3	Often 4	Always 5
Motor vehicle road in the campus					
Bicycle path					
Sidewalk					

16. Evaluate the motor vehicle road within ESOGU Meselik Campus.
- o I never have problems.
  - o I have problems occasionally (roads are too narrow).
  - o I have problems occasionally (the roads are too crowded).
  - o I have problems from time to time (the ground is bad, there is ice-snow on winter days, it is covered with leaves in autumn, etc.).
  - o I have problems all the time.
17. Evaluate the bicycle paths within ESOGU Meselik Campus.
- o I never have problems.
  - o I have problems occasionally (roads are too narrow).
  - o I have problems occasionally (the roads are too crowded).
  - o I have problems from time to time (the ground is bad, there is ice-snow on winter days, it is covered with leaves in autumn, etc.).
  - o I have problems all the time.
18. Evaluate the sidewalks within ESOGU Meselik Campus.
- o I never have problems.
  - o I have problems occasionally (roads are too narrow).
  - o I have problems occasionally (the roads are too crowded).
  - o I have problems from time to time (the ground is bad, there is ice-snow on winter days, it is covered with leaves in autumn, etc.).
  - o I have problems all the time.
19. Would you like to take part in the development of a new project alternative for on-campus transportation?
- o I don't think there is a need for a new transportation alternative.
  - o I can decide based on how much time the project will require.
  - o I would like to contribute to the vehicle design phase.
  - o I would like to contribute to the planning phase of the roads and/or route.
  - o I would like to contribute to the next stage after the project is commissioned (problems encountered in the operation phase, etc.).

20. Other topics you would like to add related to the topic:  
 .....

## İKİ BOYUTLU KESME PROBLEMİ İÇİN YENİ KARMA TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELLERİ

Büşra TUTUMLU<sup>1</sup>, Gülüm TUNCER<sup>2</sup>, Tuğba SARAÇ<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-0662-8128>

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-6512-5099>

<sup>3</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-8115-3206>

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>İki boyutlu kesme problemi Karma tamsayı doğrusal programlama 90 derece döndürme</i>	<i>Bu çalışma, iki boyutlu kesme problemlerinin çözümü için yeni karma tamsayı doğrusal matematiksel modeller (M1 ve M2) önermektedir. M1 modeli, literatürdeki model ile kıyaslanırken, M2 modeli parçaların 90° döndürülmesine izin vererek ek esneklik sunmaktadır. Bu çalışmada, önerilen modellerin performansı, literatürden alınan ve en iyi çözümleri bilinen test problemleri kullanılarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, çalışma bir gerçek hayat uygulaması da içermektedir. Bu kapsamda lokomotif ve motor üretimi yapan bir fabrikanın vagon atölyesindeki 16 ve 25 parçalı kesme problemleri önerilen modellerle çözülmüş ve sonuçlar işletmenin mevcut çözümü ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, 16 parçalı kesme probleminde M1 ve M2 modelleri sırasıyla %1,32 ve %2,32 oranında iyileşme sağlamıştır. 25 parçalı kesme probleminde ise, M1 modeli %1,59 ve M2 modeli %8,78 oranında iyileşme elde edilmiştir. Bu sonuçlar, önerilen modellerin kesme problemlerini çözmekte etkili olduğunu ve mevcut yöntemlere göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermektedir. Bu çalışma, kesme problemlerinin çözümünde yeni ve etkili yöntemler sunarak, malzeme kullanımını optimize etmeye ve israfı azaltmaya yardımcı olabilecek potansiyel katkıları ile sürdürülebilir üretim uygulamalarına da katkı sağlamaktadır.</i>

## NEW MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODELS FOR TWO-DIMENSIONAL CUTTING STOCK PROBLEM

Keywords	Abstract
<i>Two-dimensional cutting stock problem Mixed-integer linear programming model 90-degree rotation</i>	<i>This study proposes new mixed-integer linear mathematical models (M1 and M2) for solving two-dimensional cutting stock problems. The M1 model is compared with the model in the existing literature, while the M2 model allows for additional flexibility by permitting 90-degree rotation of the pieces. In this study, the performance of these models is evaluated using test problems with known optimal solutions from the literature. Additionally, for real-world applications, cutting stock problems involving 16 and 25 pieces in a wagon workshop of a locomotive and engine manufacturing factory are solved using the proposed models, and the results are compared with the company's existing solution. As a result, in the 16-piece cutting problem, the M1 and M2 models achieved improvements of 1.32% and 2.32%, respectively. In the 25-piece cutting problem, the M1 model attained a 1.59% improvement, while the M2 model achieved an 8.78% improvement. These results demonstrate that the proposed models are effective in solving cutting problems and yield better outcomes compared to existing methods. This study presents novel and efficient approaches to solving cutting problems, which have the potential to optimize material usage and reduce waste, contributing to more sustainable manufacturing practices.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 15.04.2023

Kabul Tarihi

: 03.01.2024

Research Article

Submission Date

: 15.04.2023

Accepted Date

: 03.01.2024

\* Sorumlu yazar: [tsarac@ogu.edu.tr](mailto:tsarac@ogu.edu.tr)

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1283954>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Giriş

Geçmişten bugüne firmaların hemen hepsinin temel amacı kar elde etmek olmuştur. Karın artmasını sağlayan en önemli etmenlerden birisi maliyeti azaltmaktır. Üretimde kullanılan hammadde ve yarı mamullerin verimli kullanılması, firelerin mümkün olduğunca azaltılması, gereksiz hammadde ve yarı mamul kullanımını önleyerek firmaların toplam maliyetlerinde kayda değer azalmalar sağlayabilmektedir.

Kesme problemi en genel hali ile boyutları belli olan parçaların, kesme işlemi için ana malzeme üzerine nasıl yerleştirileceğinin belirlenmesi problemidir. Kesilecek olan malzemeye ana malzeme adı verilir. Ana malzemedan kesilecek parçalara ise sipariş parçası denir. Sipariş parçalarının ana malzemeye nasıl yerleşeceğini gösteren planlar kesme planlarıdır. Kesme planında kullanılmayan ana malzeme miktarına fire denir (Albayrak, 2013).

Kesme problemlerinin temel amaçlarından birisi ürüne dönüştürülebilen ana malzeme miktarını enbüyüklemek, bir başka deyişle fireyi enküçüklemektir. Ana malzemenin ürüne dönüştürülemeyecek miktarının olabildiğince azaltılması fabrikanın maliyetlerini düşürmektedir. Kesme problemlerinde bazı özel durumlarda firenin enbüyüklenmesi de amaç olarak ele alınabilmektedir. Firelerin daha sonra tekrar kullanılmasının mümkün olduğu bu tip problemlerde fire oluşacaksa bu firenin ürüne dönüştürülebilecek kadar büyük olması amaçlanır. Tekrar kullanıma uygun boyuttaki fireler küçük parçaların kesilmesinde kullanılabilirdiği için yeni ana malzeme ihtiyacını azaltır. Kesme probleminin pek çok sektörde uygulama alanı mevcuttur. Bunlardan bazıları metal, mobilya, alüminyum, cam, tekstil sektörleridir.

Kesme problemlerinde bir diğer önemli nokta kullanılacak kesim tekniğidir. Giyotin, plazma ve lazer kesim bu tekniklerden bazılarıdır. Giyotin kesim ile çoğunlukla düzgün çokgenler kesilmektedir. Plazma ve lazer kesim ile ise düzgün çokgenlerin yanı sıra düzgün olmayan parçalar da kesilebilmektedir.

Bu çalışmada, vagon üretimi yapan bir işletmenin saç kesim atölyesindeki dikdörtgen ana malzemedan lazer kesme işlemi ile kesilecek dikdörtgen parçaların olduğu iki boyutlu kesme problemi ele alınmaktadır. Bu problemin çözümü için yeni iki karma tamsayılı doğrusal programlama modeli (M1 ve M2) önerilmiştir. M2 modeli parçaların 90° döndürülebilmesine de izin vermektedir. Önerilen modellerin performansı niyi çözümleri bilinen test problemleri kullanılarak literatürdeki model ile kıyaslanmıştır.

Literatürde yer alan modellerin, parçaların 90° döndürülmesini dikkate alabilmesi için parçaların eni ve boyunu değiştirerek yeni bir parça olarak

tanımlanabileceği ve veri setine eklenebileceği belirtilmiştir. Ancak bu yaklaşım, hem kesilecek parça sayısını iki katına çıkararak çözülecek problemin boyutunu büyütmede hem de modele ek kısıtlar eklenmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada önerilen M2 modelinde ise parçaların 90° döndürülüp döndürülmeyeceğine bir 0-1 karar değişkeni yardımı ile karar verilmektedir. Bu yaklaşım, çözülecek problemin boyutunu arttırmadığı gibi ek kısıtlar eklenmesini de gerektirmemektedir.

Çalışmanın izleyen bölümünde literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde ele alınan problem ve önerilen matematiksel modeller sunulmuştur. Dördüncü bölümde deneysel sonuçlar, son bölümde ise sonuç ve öneriler verilmiştir.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Literatürde iki boyutlu kesme problemleri temel olarak üç sınıfa ayrılmaktadır (Wu, Min ve Zhang, 2019); iki boyutlu kutu paketleme problemi, iki boyutlu şerit paketleme problemi ve iki boyutlu sırt çantası paketleme problemi. Bu üç problem tipinde ele alınan amaçlar farklılık göstermektedir. İlk problem tipinde ana malzeme sayısını azaltmak, ikinci problem tipinde ana malzemenin yüksekliğini azaltmak ve üçüncü problem tipinde ise ana malzemedan kesilen parçaların toplam değerini artırmak, ana malzemedan kullanılan toplam alanı artırmak veya ana malzemedeki israf edilen alanı azaltmak amaçlanmaktadır. Birinci problem tipi için Martinovic, Strasdat, de Carvalho ve Furini (2021), Lee, Kim ve Johnson (2013) ve Bang-Jensen ve Larsen (2012) gibi çalışmalar örnek verilebilir. İkinci problem tipi için Wei, Qin, Cheang ve Xu (2016), Yang, Han ve Ye (2013), Verstichel, De Causmaecker ve Vanden Berghe (2013), Arahori, Imamichi ve Nagamochi (2012) ve Leung, Zhang ve Sim (2011) gibi çalışmalar örnek verilebilir. Üçüncü problem tipi için ise Goncalves ve Wascher (2020), Queiroz ve Andretta (2020), Virk ve Singh (2019), D'Amato, Mercado, Heiling ve Cifuentes (2016), Baldacci, Boschetti, Ganovelli ve Maniezzo (2014), Özcan, Kai ve Drake (2013) ve Qiu, Zhang, Wu ve Ma (2012) gibi çalışmalar örnek verilebilir.

Lori, de Lima, Martello, Miyazawa ve Monaci (2021) ise literatürdeki iki boyutlu kesme problemlerinin dört ana probleme ayrıldığını belirtmektedir. Bunlar enküçük yüksekliğe sahip paketleme, parçaları enaz sayıda kutuya yerleştirme, enbüyük değerde paketleme ve uygun bir paketlemenin varlığını belirlemedir. Ayrıca literatürde incelenen çalışmaları kesilecek parçaların özelliklerine göre düzgün parçaların kesilmesini ele alanlar ve düzgün olmayan parçaların kesilmesini ele alanlar olmak üzere ikiye ayırmakta mümkündür. Bu çalışma, Wu ve diğ. (2019)'da bahsedilen sınıflandırmaya göre iki boyutlu sırt çantası paketleme problemi sınıfına, Lori, de Lima, Martello,

Miyazawa ve Monaci (2021)'deki sınıflandırmaya göre enbüyük değerde paketleme sınıfına ve kesilecek parçaların özelliklerine göre ise düzgün parçaların kesilmesi sınıfına dahil edilebilir.

Bu çalışmada düzgün şekilli parçaların kesilmesi ele alındığı için bu kapsamdaki çalışmalardan erişilenler ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Goncalves ve Wascher (2020), iki boyutlu kesme probleminde kusurlu ana malzemeye atanan parçaların toplam değerinin enbüyüklenmesini amaçlamışlardır. Bu çalışmanın temel hedefi, giyotin işlemi yerine giyotin olmayan bir kesme işlemi kullanarak kesim verimliliğinde ne kadar iyileşme sağlanabileceğini göstermektir. Çözüm yöntemi olarak karma tamsayılı doğrusal bir matematiksel model ve yerleştirme stratejisine dayalı hibrit bir genetik algoritma önerilmiştir. Literatürde Goncalves ve Wascher (2020) çalışmasında olduğu gibi Gümüş (2012) ve Erdoğan (2010) çalışmalarında da yerleştirme stratejileri kullanılmıştır. Gümüş (2012), genetik algoritma, yerleştirme algoritmaları ve çok ölçütlü karar verme tekniklerinin beraber kullanıldığı bir yaklaşım önermiştir. Erdoğan (2010), genetik algoritma ve dinamik programlama yardımı ile oluşturulmuş sezgisel bir yerleştirme algoritması geliştirmiştir.

Virk ve Singh (2019), çok amaçlı iki boyutlu kesme problemini ele almışlardır. Amaçlar sırasıyla, dikdörtgen parçaların kullanım faktörünün enbüyüklenmesi, dikdörtgenlerin teslim tarihlerinin ve kesim sayısının en küçüklenmesidir. Problemin çözümü için Guguk Kuşu Arama, Yarasa Algoritması ve Çiçek Tozlaşma Algoritması uygulanmıştır.

Wei, Hu, Lim ve Liu (2018), iki boyutlu kesme problemi için açgözlü bir sezgisel yöntem ve dal-sınır algoritması, Söke ve Bingül (2005), bir tavlama benzetimi algoritması ve Albayrak (2013), sezgisel ve meta sezgisel çözüm yaklaşımı, Nepomuceno, Pinheiro ve Coelho (2008), sezgisel ve kesin çözüm yaklaşımlarının birlikte kullanıldığı, melez bir algoritma ve Ergün (2004), sezgisel bir çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Fırat, Alpaslan ve Hanbay (2019), dikdörtgen parçalar ile düzenli iki boyutlu kesme ve paketleme problemine çözüm aramışlardır. Amaç, firenin enküçüklenmesidir. Çözüm yaklaşımı olarak probleme özel geliştirilmiş sezgisel algoritmalar kullanılmıştır.

Denli (2013), iki boyutlu bir ana malzemeden yine çeşitli geometrik şekillere sahip parçaların kesimini incelemiştir. En iyi kesim planlarını ararken arta kalan alanın enbüyüklenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada parça yerleşimi genetik algoritma kullanılarak yapılmıştır.

Bağrıyanık (2019), cephe kaplamaları üreten bir firmanın iki boyutlu dikdörtgen şekilli ana malzemeden yine dikdörtgen şekilli parçaların kesilmesi problemi için bir sezgisel algoritma uygulamıştır. Fırat (2018),

iki boyutlu kesme ve paketleme probleminde, kesme planlarının oluşturulması için alt-sol ve alt-sol dolgu yöntemlerini, yerleştirilen parçalar arasında çakışma olmaması için uygun olmayan çokgen yöntemini ve daha hızlı ve verimli paketleme işlemleri için de metasezgisel yöntemlerden tavlama benzetimi ve yasaklı arama algoritmalarını kullanmıştır.

İçmen (2015) matematiksel model tabanlı bir sezgisel çözüm yaklaşımı geliştirmiştir. Birden fazla ana malzeme çeşidi kullanılan kesme problemi, giyotin ve iki aşamalı kesim kısıtları altında ele alınmıştır. Andrade, Birgin, Morabito ve Ronconi (2014), enküçük maliyetli parçaların kesilmesini ve ana malzemede kullanılmayan alanların gelecekteki parçalar için kullanılabilmesini dikkate alan iki boyutlu kesme problemi için çok aşamalı bir karma tamsayılı matematiksel model önermişlerdir. Qiu ve diğ. (2012), israfı enküçükleyen bir tamsayılı model önermişlerdir. Hoare ve Beasley (2001), iki boyutlu kesme problemi için doğrusal olmayan bir matematiksel model önermişlerdir.

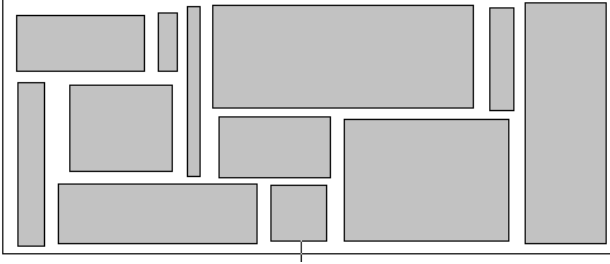
Erişilebilen literatür dikkate alındığında, iki boyutlu kesme probleminin çözümü için genellikle sezgisel yöntemler uygulanmıştır. Goncalves ve Wascher (2020), Andrade ve diğ. (2014), Qiu ve diğ. (2012) ve Hoare ve Beasley (2001) gibi çalışmalarda matematiksel modeller önerilmiştir.

Bu çalışmanın literatüre katkısı, daha önce önerilen karma tamsayılı doğrusal matematiksel modellerden daha etkin yeni iki matematiksel model (M1 ve M2) önerilmesidir. Ayrıca M2 modelinde, parçaların 90° dönmesine de izin verilmekte ve hangi parçaların 90° döndürülmesi gerektiği model tarafından belirlenmektedir. Literatürdeki çalışmalarda genellikle parçaların 90° dönmesi durumunu ele alabilmek için her parça için eni ve boyu değiştirilerek yeni bir parça tanımlanması önerilmektedir. Ancak bu durumda hem parça sayısı iki katına çıkmakta hem de eni boyu değiştirilmiş parçalardan sadece birisinin seçilmesini sağlayacak ek kısıtların modele eklenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada önerilen M2 modelinde ise parçaların 90° dönüp dönmemesi bir karar değişkeni ile model tarafından belirlenmektedir. Böylece parça sayısının artmasının önüne geçilmekte ve ek kısıtlara da gereksinim kalmamaktadır.

### 3. Ele Alınan Problem ve Önerilen Matematiksel Model

Bu çalışma lokomotif ve motor üretimi yapan bir fabrikanın vagon atölyesinde yapılmıştır. Çalışmanın her aşamasında araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Ele alınan problem iki boyutlu, heterojen dikdörtgen parçaların kesilmesi problemidir. Büyük ana sac malzemeden hangi parçaların kesileceğinin belirlenmesi ve seçilen parçaların en küçük fireyle kesme planına yerleştirilmesi amaçlanmıştır. Şekil 1'de

dikdörtgen parçaların kesim planına bir örnek verilmiştir.



Şekil 1. İki Boyutlu Dikdörtgen Parçaların Kesme Planı

Kesme işlemi lazer yöntemi ile yapılmaktadır. Lazer kesimde parçalar bitişik kesilememektedir. Parçalar arasında en az 10 mm kesme payı olmalıdır. Kesilecek parçaların merkez koordinatlarının belirlenmesi gereklidir. Kesilecek parçalar kesim planına X-Y koordinat düzlemi üzerinde yerleştirilmektedir. Her parçanın X-Y koordinat düzleminde konumları belirlenmelidir. Kesilecek parçaların ana malzeme üzerine çakışmadan yerleştirilmesi sağlanmalıdır.

İşletmede kesme işlemi yapılmadan önce lazer tezgahıyla entegre olan Taumf Tops 100 programına parçaların teknik resimleri tanımlanarak yerleşim planı oluşturulmaktadır. Operatör sezgisel olarak ana parçaya sığacak kadar parça seçip yerleştirme yapmaktadır. Yerleşim planı oluşturulurken ana malzemenin kullanılan alanını enbüyükleyecek şekilde yerleşim yapılmasına dikkat edilmektedir.

İki boyutlu kesme problemi için önerilen karma tamsayı doğrusal matematiksel model (M1) aşağıda verilmiştir:

*İndisler:*

$i, j$ : parça indisi

*Parametreler:*

$L_0$ : ana malzemenin boyu

$W_0$ : ana malzemenin eni

$L_i$ :  $i$ . parçanın boyu

$W_i$ :  $i$ . parçanın eni

$n$ : parça türü sayısı

$v_i$ :  $i$ . parçanın değeri ( $W_i \times L_i$ )

$\alpha_{ij}$ :  $i$ . ve  $j$ . parçaların enlerinin toplamının yarısı

$\beta_{ij}$ :  $i$ . ve  $j$ . parçaların boylarının toplamının yarısı

$M$ : Büyük pozitif bir sayı

*Karar Değişkenleri:*

$z_i$ :  $i$ . parça kesilecekse 1, diğer durumda 0.

$x_i$ :  $i$ . parçanın ağırlık merkezinin x koordinatı

$y_i$ :  $i$ . parçanın ağırlık merkezinin y koordinatı

$cx_{ij}^1, cx_{ij}^2, cy_{ij}^1, cy_{ij}^2$ :  $i$ . ve  $j$ . parçaların birbiri ile çakışmamasını sağlayan kısıtlarda kullanılan 0-1 değişkenler

*Amaç Fonksiyonu:*

$$enbx_0 = \sum_{i=1}^n v_i z_i \quad (1)$$

*Kısıtlar:*

$$x_i - x_j - \alpha_{ij} + M(3 - z_i - z_j - cx_{ij}^1) \geq 0 \quad \forall_{i,j:i \neq j} \quad (2)$$

$$x_j - x_i - \alpha_{ij} + M(3 - z_i - z_j - cx_{ij}^2) \geq 0 \quad \forall_{i,j:i \neq j} \quad (3)$$

$$y_i - y_j - \beta_{ij} + M(3 - z_i - z_j - cy_{ij}^1) \geq 0 \quad \forall_{i,j:i \neq j} \quad (4)$$

$$y_j - y_i - \beta_{ij} + M(3 - z_i - z_j - cy_{ij}^2) \geq 0 \quad \forall_{i,j:i \neq j} \quad (5)$$

$$cx_{ij}^1 + cx_{ij}^2 + cy_{ij}^1 + cy_{ij}^2 = 1 \quad \forall_{i,j:i \neq j} \quad (6)$$

$$\frac{L_i}{2} \leq y_i \leq L_0 - \frac{L_i}{2} \quad \forall_i \quad (7)$$

$$\frac{W_i}{2} \leq x_i \leq W_0 - \frac{W_i}{2} \quad \forall_i \quad (8)$$

$$z_i, cx_{ij}^1, cx_{ij}^2, cy_{ij}^1, cy_{ij}^2 \in \{0,1\} \quad \forall_{i,j} \quad (9)$$

$$x_i, y_i \geq 0 \quad \forall_i \quad (10)$$

Amaç (1) seçilecek parçaların toplam alanının enbüyüklenmesidir. Kısıt (2)-(6), dikdörtgen ana malzemenin kesilmek üzere seçilen herhangi iki parçanın çakışmamasını sağlar. Kısıt (7), seçilen herhangi bir parçanın ana malzemenin boy sınırları içinde olmasını sağlar. Kısıt (8), seçilen herhangi bir parçanın ana malzemenin en sınırları içinde olmasını sağlar. Kısıt (9) ilgili karar değişkenlerinin 0 ya da 1 değerini almasını garanti etmektedir. Kısıt (10) ilgili karar değişkenlerinin negatif değer almasını engellemektedir.

İki boyutlu kesme problemi için M1 modeli aşağıdaki gibi revize edilerek kesilecek parçaların 90° dönmesine izin verilen M2 modeli de önerilmiştir.

*Karar Değişkenleri:*

$u_i$ :  $i$ . parça 90° döndürüldüyse 1, diğer durumda 0.

$\alpha'_{ij}$ :  $i$ . ve  $j$ . parçaların enlerinin toplamının yarısı

$\beta'_{ij}$ :  $i$ . ve  $j$ . parçaların boylarının toplamının yarısı

*Kısıtlar:*

$$x_i - x_j - \alpha'_{ij} + M(3 - z_i - z_j - cx_{ij}^1) \geq 0 \quad \forall_{i,j:i \neq j} \quad (11)$$



$$x_j - x_i - \alpha'_{ij} + M(3 - z_i - z_j - cx_{ij}^2) \geq 0 \quad \forall_{i,j:i \neq j} \quad (12)$$

$$y_i - y_j - \beta'_{ij} + M(3 - z_i - z_j - cy_{ij}^1) \geq 0 \quad \forall_{i,j:i \neq j} \quad (13)$$

$$y_j - y_i - \beta'_{ij} + M(3 - z_i - z_j - cy_{ij}^2) \geq 0 \quad \forall_{i,j:i \neq j} \quad (14)$$

$$\frac{L_i(1-u_i)+W_i u_i}{2} \leq y_i \leq L_0 - \frac{L_i(1-u_i)+W_i u_i}{2} \quad \forall_i \quad (15)$$

$$\frac{W_i(1-u_i)+L_i u_i}{2} \leq x_i \leq W_0 - \frac{W_i(1-u_i)+L_i u_i}{2} \quad \forall_i \quad (16)$$

$$\alpha'_{ij} = \frac{w_i(1-u_i)+w_j(1-u_j)+l_i u_i+l_j u_j}{2} \quad \forall_{i,j:i \neq j} \quad (17)$$

$$\beta'_{ij} = \frac{l_i(1-u_i)+l_j(1-u_j)+w_i u_i+w_j u_j}{2} \quad \forall_{i,j:i \neq j} \quad (18)$$

$$u_i \in \{0,1\} \quad \forall_i \quad (19)$$

$$\alpha'_{ij}, \beta'_{ij} \geq 0 \quad \forall_{ij} \quad (20)$$

Kısıt (11)-(14), dikdörtgen ana malzemeden kesilmek üzere seçilen herhangi iki parçanın çakışmamasını sağlar. Kısıt (15), seçilen herhangi bir parçanın ana malzemenin boy sınırları içinde olmasını sağlar. Kısıt (16), seçilen herhangi bir parçanın ana malzemenin en sınırları içinde olmasını sağlar. Kısıt (17),  $i$ . ve  $j$ . parçaların enlerinin toplamının yarısının hesaplanmasını sağlar. Kısıt (18),  $i$ . ve  $j$ . parçaların boylarının toplamının yarısının hesaplanmasını sağlar. Kısıt (19) ilgili karar değişkenlerinin 0 ya da 1 değerini almasını garanti etmektedir. Kısıt (20) ilgili karar değişkenlerinin negatif değer almasını engellemektedir.

M2 modelinin amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıda özetlenmiştir.

M2

Amaç Fonksiyonu: (1)

Kısıtlar:

Kısıt(6)

Kısıt(9)-(10)

Kısıt(11)-(20)

#### 4. Deneysel Sonuçlar

Önerilen M1 modelinin performansını gösterebilmek için bu modelle elde edilen sonuçlar, literatürdeki Goncalves ve Wascher (2020) çalışmasında önerilen karma tamsayı doğrusal programlama modeli (GW)'nin sonuçları ile kıyaslanmıştır. Testler, Beasley (1985)'in OR-Library'de paylaşılan ve optimum sonuçları bilinen ngcutinfo dosyasındaki 12 adet test problemi kullanılarak yapılmıştır. Bu test problemleri 90° dönmeye izin verilen M2 modeli ile de çözülmüş ve

sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, iki adet gerçek hayat problemide önerilen modeller ile çözülmüştür. Gerçek hayat problemi ile ilgili çalışmaların makale içeriğinde yer alabilmesi için, 03.12.2021 tarihinde ilgili işletmeden yazılı izin alınmıştır. Önerilen modeller GAMS'in 23.7 versiyonunda kodlanmış ve tüm problemler GAMS'in CPLEX 12.3.0.0 çözücüsü ile Core i5-7200U CPU, 2.71 GHz işlemcili 8 GB Ram kapasitesine sahip bir bilgisayarda çözülmüştür. Çözüm süresi 10800 saniye ile sınırlandırılmıştır.

#### 4.1. Test Sonuçları

Önerilen modellerin performansının test edilmesi ve literatürdeki Goncalves ve Wascher (2020) modeli (GW) ile kıyaslanabilmesi için Beasley (1985)'in eniyi çözümleri bilinen 12 test problemi kullanılmıştır. Bu problemlerin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Literatürden Alınan Test Problemlerinin Özellikleri

Test Problem No	( $L_0, W_0$ )	Parça Türü	Toplam Parça Sayısı
1	(10,10)	5	10
2		7	17
3		10	21
4	(15,10)	5	7
5		7	14
6		10	15
7	(20,20)	5	8
8		7	13
9		10	18
10	(30,30)	5	13
11		7	15
12		10	22

Tüm test problemleri GW, M1 ve M2 modelleri ile süre limiti altında çözülmüş ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde, hem GW modeli ve hem de M1 modeli ile literatürde verilen eniyi amaç fonksiyonu değerlerinin ( $z^*$ ) elde edildiği görülmektedir. Önerilen M1 modeli, literatürdeki modelden ortalama %26,90 daha kısa sürede çözüme ulaşmıştır. M2 modeli ile elde edilen sonuçlar 90° dönmeye izin verilmediği durumda elde edilen eniyi amaç fonksiyonu değerleri ile kıyaslandığında ortalama %4,06 daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Böylece ana malzemeden daha az fire ile parçalar kesilebildiği görülmüştür. Ayrıca modellerin eniyi amaç fonksiyonu değerine ne kadar yaklaşılabildiklerini gösterebilmek amacıyla her problem için eniyi çözüme yüzde uzaklığı ( $gap\%$ ) da hesaplanmıştır. Denklem (21)'de  $gap\%$  formülü verilmiştir.

$$gap\% = \frac{|Objest - Objval|}{Objval} \quad (21)$$

Burada, *Objest* ve *Objval* GAMS/Cplex ile hesaplanan tahmini ve elde edilen eniyi amaç fonksiyonu değerleridir. Eniyi çözümü bilinen problemlerde

tahmini değer yerine eniyi amaç fonksiyonu değeri kullanılmıştır.

Tablo 2. Test Problemlerinin Sonuçları

Problem	$z^*$	GW			M1			M2		
		$z$	$t(s.)$	gap%	$z$	$t(s.)$	gap%	$z$	$t(s.)$	gap%
1	164	164	10800	0	164	10	0	193	15004	0
2	230	230	3011	0	230	2815	0	250	14951,70	0
3	247	247	10800	0	247	10800	0	259	10800	0,95
4	268	268	449	0	268	< 1	0	268	< 1	0
5	358	358	10800	0	358	10800	0	370	10800	0,47
6	289	289	10800	0	289	10800	0	298	10800	0,71
7	430	430	< 1	0	430	< 1	0	430	< 1	0
8	834	834	8489	0	834	8504	0	886	10800	0,38
9	924	924	10800	0	924	10800	0	924	10800	0,90
10	1452	1452	10800	0	1452	9	0	1452	10800	0,24
11	1688	1688	10800	0	1688	10800	0	1786	10800	0,63
12	1865	1865	10800	0	1865	10800	0	1932	10800	1,13

M1 ve GW modelleri ile tüm problemlerin eniyi çözümlerine erişildiğinden *gap%* değerleri sıfırdır. M2 modeli için ise sıfırdan farklı *gap%* değeri olduğu görülmektedir. Bu da modelin süre limitinin artırılması durumunda ortalama %4,06 olarak gerçekleşen iyileştirme yüzdesinin artmasının mümkün olduğu anlamına gelmektedir.

#### 4.2. 16 Parçalı Gerçek Hayat Problemi

Uygulamanın yapıldığı işletmenin ilk probleminde 1000×2000 mm ölçülerinde bir ana sac parça ve farklı boyutlarda 16 adet sipariş parçası mevcuttur. Parçaların kalınlıkları sabittir. Bu nedenle üçüncü boyuta ihtiyaç duymadan iki boyutta kesme işlemi yapılmaktadır. Ayrıca işletme her parça arasında 10 mm kesme payı olmasını istemektedir. Bu nedenle her parçanın en ve boy parametrelerine 10 mm ( $W_i = W_i + 10$ ,  $L_i = L_i + 10$ ) eklenmiştir. Bir parçanın hem enine hem de boyuna 10 mm eklediğimizde aslında parçayı 5 mm'lik bir boşlukla çevrelediğimizi düşünebiliriz. Böylece iki parça yan yana ya da üst üste kesme planına yerleştirildiğinde her ikisinin de 5 mm boşlukla çevrelenmesi nedeniyle aralarındaki toplam boşluğun her durumda en az 10 mm olması garanti altına alınmıştır. Bu nedenle matematiksel modele ayrıca bir kısıt eklenmesine gerek kalmamıştır. Sipariş parçalarının boyutları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. 25 Parçalı Gerçek Hayat Probleminin Sipariş Parçalarının Boyutları

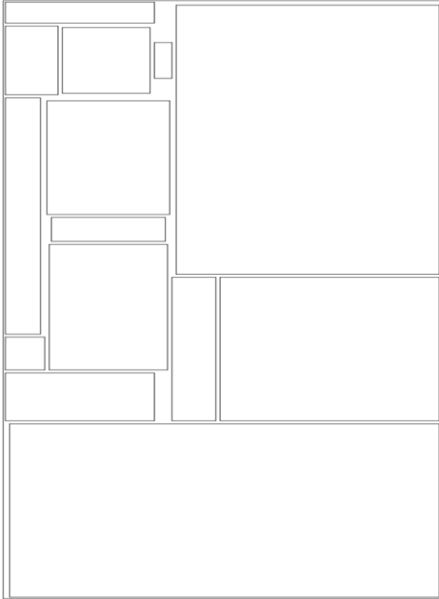
$i$	$L_i$	$W_i$
1	900	600
2	100	370
3	230	120
4	380	280
5	110	90
6	480	500
7	790	80
8	350	265
9	480	100
10	120	40
11	160	340
12	580	980
13	70	340
14	220	200
15	420	270
16	80	260

16 parçalı problem, M1 modeli ile çözülmüştür. Süre limiti içerisinde uygun bir çözüm elde edilmiş ve *gap%* değeri 0,07 olarak elde edilmiştir. Elde edilen çözümde sipariş parçalarının seçilip seçilmediği, merkez koordinatları ve alanları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. 16 Parçalı Problemin M1 ile Elde Edilen Çözümü

$i$	$z_i$	$x_i$	$y_i$	$v_i$
1	1	695	1535	540000
2	0	-	-	-
3	1	65	1800	27600
4	1	240	1475	106400
5	1	50	820	9900
6	1	745	835	240000
7	1	45	1280	63200
8	0	-	-	-
9	1	435	835	48000
10	1	365	1800	4800
11	1	175	675	54400
12	1	505	295	568400
13	1	175	1960	23800
14	1	235	1800	44000
15	1	240	975	113400
16	1	240	1235	20800

Tablo 4 incelendiğinde 2 ve 8. Parçaların seçilmediği görülmektedir. Toplam kullanılan alan ise 1.864.700 mm<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Elde edilen kesme planı Şekil 2'de verilmiştir.



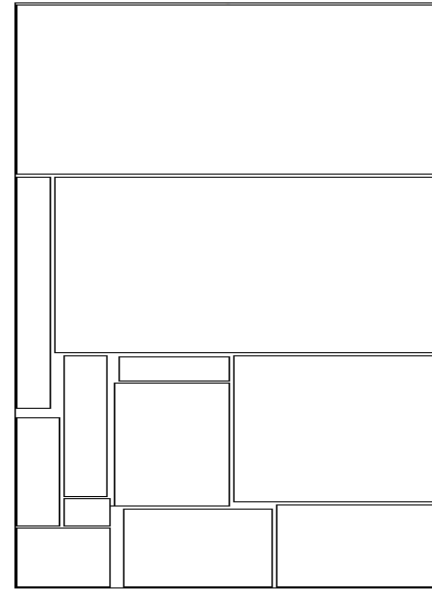
Şekil 2. 16 Parçalı Problem için M1 ile Elde Edilen Kesme Planı

16 parçalı problem, 90° dönmeye izin verilen M2 modeli ile de çözülmüştür. Süre limiti içerisinde uygun bir çözüm elde edilmiş ve *gap%* değeri 0,06 olarak elde edilmiştir. Elde edilen çözümde sipariş parçalarının seçilip seçilmediği, 90° dönüp dönmediği, merkez koordinatları ve alanları Tablo 5'te verilmiştir. Toplam kullanılan alan ise 1.883.850 mm<sup>2</sup> olarak elde

edilmiştir. Elde edilen kesme planı Şekil 3'te verilmiştir.

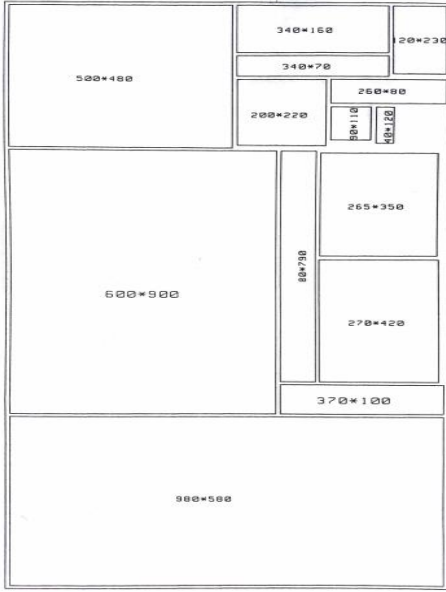
Tablo 5. 16 Parçalı Problemin M2 ile Elde Edilen Çözümü

$i$	$z_i$	$x_i$	$y_i$	$v_i$
1	1	1	545	1105
2	1	1	55	400
3	0	-	-	-
4	1	1	805	145
5	1	1	170	260
6	1	1	755	545
7	1	0	45	1010
8	1	1	430	137,50
9	1	0	165	555
10	0	-	-	-
11	0	-	-	-
12	1	0	495	1705
13	0	-	-	-
14	1	1	115	105
15	1	0	370	490
16	1	0	375	750



Şekil 3. 16 Parçalı Problem için 90° Dönebilen M2 ile Elde Edilen Kesme Planı

İşletmede operatör tarafından oluşturulan kesme planında ise 16 parçadan 14 tanesi kullanılmıştır. İşletmede yapılan yerleşime göre 1.840.050 mm<sup>2</sup> alan kullanılmıştır. İşletmenin oluşturduğu mevcut kesme planı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. 16 Parçalı Problem için Mevcut Kesme Planı

M1 ve M2 modelleri ile oluşturulan kesme planları, işletmedeki operatör tarafından manuel oluşturulan kesme planından sırasıyla %1,32 ve %2,32 daha iyidir. M2 ise M1'den %1,02 daha başarılıdır.

#### 4.3. 25 Parçalı Gerçek Hayat Problemi

Uygulamanın yapıldığı işletmenin ikinci probleminde 1000x2000mm ölçülerindeki bir ana sac levha ve 25 adet farklı boyutlardaki sipariş parçası kesilecektir. 25 parçalı problem, M1 modeli ile çözülmüştür. Süre limiti içerisinde uygun bir çözüm elde edilmiş ve *gap%* değeri 0,19'dur. Elde edilen çözümde sipariş parçalarının seçilip seçilmediği, merkez koordinatları ve alanları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6 incelendiğinde, 25 parçadan dört parça (5, 15, 16 ve 21. parça) seçilmemiştir. Toplam kullanılan alan 1.749.600 mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. İşletmenin mevcut kesme planında ise 25 parçadan 20 tanesi kesilmiş ve toplam kullanılan alan 1.721.800 mm<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir.

25 parçalı problem M2 modeli ile de çözülmüştür. Her iki modelle elde edilen kesme planları, işletmedeki operatör tarafından manuel oluşturulan kesme planından sırasıyla %1,59 ve %8,78 daha iyidir. M2 ise M1'den %7,03 daha başarılıdır. Ayrıca *gap%* değerinin 0,18 olduğu göz önünde bulundurulduğunda çözüm süresinin artırılması durumunda iyileştirme oranlarının da artabileceği görülmektedir.

Tablo 6. 25 Parçalı Problemin M1 Modeli ile Elde Edilen Çözümü

$i$	$Z_i$	$X_i$	$Y_i$	$V_i$
1	1	245	725	480000
2	1	760	1010	117500
3	1	830	165	105600
4	1	210	105	82000
5	0	-	-	-
6	1	535	110	46200
7	1	770	1590	43700
8	1	760	1380	31500
9	1	845	605	162000
10	1	390	1615	35000
11	1	920	1405	18000
12	1	570	685	45000
13	1	595	1485	40000
14	1	565	375	42000
15	0	-	-	-
16	0	-	-	-
17	1	770	1205	54000
18	1	75	1655	30800
19	1	75	1885	30800
20	1	610	1845	165000
21	0	-	-	-
22	1	230	1450	76500
23	1	205	1775	44000
24	1	945	1735	52000
25	1	205	1295	48000

#### 5. Sonuç

Bu çalışma kapsamında iki boyutlu kesme problemi için literatürdeki GW modelinden daha başarılı bir karma tamsayı doğrusal programlama modeli (M1) önerilmiştir. Önerilen M1 modeli ve GW modelinin kıyaslanması için literatürde eniyi çözümleri bilinen test problemleri kullanılmıştır. İki modelle de eniyi amaç fonksiyonu değerlerine ulaşılmıştır. Ancak M1 modeli, literatürdeki modelden ortalama %26,90 daha kısa sürede çözüme ulaşmıştır. Ayrıca 90° dönmeye izin verilen bir karma tamsayı doğrusal model (M2) de önerilmiştir. Test problemleri bu model ile de çözüldüğünde ortalama %4,06 daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Böylece ana malzemeden daha az fire ile parçaların kesilebildiği görülmüştür.

Önerilen modeller ile lokomotif ve motor üretimi yapan bir fabrikanın vagon atölyesindeki 16 ve 25 parçalı kesme problemleri çözülmüştür. Elde edilen çözümler mevcut durumla kıyaslanmıştır. 16 parçalı kesme probleminde M1 ve M2 modelleri mevcut durumu sırasıyla %1,32 ve %2,32 iyileştirmiştir.

25 parçalı kesme probleminde ise M1 ve M2 modelleri mevcut durumu sırasıyla %1,59 ve %8,78 iyileştirmiştir. Bir saç levhanın kesiminde bile kullanılan alanın artırılmış ve firenin düşürülmüş olması önerilen matematiksel modelin kullanılması durumunda işletmeye uzun vade de maliyetlerini azaltması için önemli bir fırsat sunabileceği açıktır.

### Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Büşra TUTUMLU, literatür taraması, matematiksel modellerin geliştirilmesi, literatürdeki test problemlerinin çözümü ve makale yazımı; Gülüm TUNCER, literatür taraması, matematiksel modellerin geliştirilmesi, uygulamanın yapılması ve makale yazımı; Tuğba SARAÇ, matematiksel modelin geliştirilmesi, literatürdeki test problemlerinin çözümü ve makale yazımı konularında katkı sağlamışlardır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynaklar

Albayrak, E. (2013). *İki boyutlu dikdörtgen şekilli stok kesme problemleri için sezgisel-metasezgisel algoritma ve yazılım geliştirme* (Yüksek Lisans Tezi). Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Andrade, R., Birgin, R. G., Morabito, R., & Ronconi, D. P. (2014). MIP models for two-dimensional non-guillotine cutting problems with usable leftovers. *Journal of the Operational Research Society*, 65, 1649-1663. doi: <http://doi.org/10.1057/jors.2013.108>

Araç, Y., Imamichi, T., & Nagamochi, H. (2012). An exact strip packing algorithm based on canonical forms. *Computers & Operations Research*, 39(12), 2991-3011. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cor.2012.03.003>

Bağrıyanık, O. İ. E. (2019). *Levha kesme problemlerine karşılaştırmalı bir yaklaşım* (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Baldacci, R., Boschetti, M. A., Ganovelli, M., & Maniezzo, V. (2014). Algorithms for nesting with defects. *Discrete Applied Mathematics*, 163(1), 17-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dam.2012.03.026>

Bang-Jensen, J., & Larsen, R. (2012). Efficient algorithms for real-life instances of the variable size bin packing problem. *Computers & Operations Research*, 39(11), 2848-2857. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cor.2012.02.018>

Beasley, J. E. (1985). An exact two-dimensional non-guillotine cutting tree search procedure. *Operations Research*, 33, 49-64. doi: <http://doi.org/10.1287/opre.33.1.49>

D'Amato, J. P., Mercado, M., Heiling, A., & Cifuentes, V. (2016). A proximal optimization method to the problem of nesting irregular pieces using parallel architectures. *Revista Iberoamericana De Automatica E Informatica Industrial*, 13(2), 220-227. doi: <http://doi.org/10.1016/j.riai.2016.01.003>

Denli, D. H. (2013). *İki boyutlu standart geometrik yapıları parçaların kesim probleminin analitik ve genetik algoritma çözümü* (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Erdoğan, Y. A. (2010). *İki boyutlu bir kesme problemi için sezgisel yaklaşımlı bir uygulama* (Yüksek Lisans Tezi). Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ergün, K. (2004). *Kesme ve paketleme problemleri ve araştırmaya yönelik bir metod geliştirilmesi ve bu metodun etkinliğinin sınanması* (Yüksek Lisans Tezi). Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Fırat, H. (2018). *İmalat sektöründe parça yerleştirme ve kesme probleminin optimizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

Fırat, H., Alpaslan, N. ve Hanbay, D. (2019). Dikdörtgen parçalar ile iki boyutlu kesme ve paketleme problemi için sezgisel yöntemler kullanan bir hibrit metodoloji. *Politeknik Dergisi*, 22(4), 979-988. doi: <http://doi.org/10.2339/politeknik.487602>

Goncalves, J. F., & Wascher, G. (2020). A MIP model and a biased random-key genetic algorithm based approach for a two-dimensional cutting problem with defects. *European Journal of Operational Research*, 286(3), 867-882. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.04.028>

Gümüş, G. (2012). *Dikdörtgen şekilli malzeme kesme problemleri için genetik algoritma tabanlı çok ölçütlü bir çözüm yaklaşımı* (Yüksek Lisans Tezi). Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Hoare, N. P., & Beasley, J. E. (2001). Placing boxes on shelves: A case study. *Journal of the Operational Research Society*, 52, 605-614. doi: <http://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601130>

İçmen, B. (2015). *İki boyutlu kesme ve ana malzeme seçimi problemleri için matematiksel modeller ve*

*çözüm yaklaşımları* (Yüksek Lisans Tezi). Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Lee, J., Kim, B. I., & Johnson, A. L. (2013). A two-dimensional bin packing problem with size changeable items for the production of wind turbine flanges in the open die forging industry. *IIE Transactions*, 45(12), 1332-1344. doi: <http://doi.org/10.1080/0740817X.2012.725506>
- Leung, S. C. H., Zhang, D., & Sim, K. M. (2011). A two-stage intelligent search algorithm for the two-dimensional strip packing problem. *European Journal of Operational Research*, 215(1), 57-69. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.06.002>
- Lori, M., de Lima, V. L., Martello, S., Miyazawa, F. K., & Monaci, M. (2021). Exact solution techniques for two-dimensional cutting and packing. *European Journal of Operational Research*, 289(2), 399-415. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.06.050>
- Martinovic, J., Strasdat, N., de Carvalho, J. V., & Furini, F. (2021). Variable and constraint reduction techniques for the temporal bin packing problem with fire-ups. *Optimization Letters*. doi: <http://doi.org/10.1007/s11590-021-01825-x>
- Nepomuceno, N. V., Pinheiro, P. R., & Coelho, A. L. V. (2008). A hybrid optimization framework for cutting and packing problems. *Springer-Verlag*, 153, 87-99. Erişim adresi: [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-70807-0\\_6](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-70807-0_6)
- Özcan, E., Kai, Z., & Drake, J. H. (2013). Bidirectional best-fit heuristic considering compound placement for two dimensional orthogonal rectangular strip packing. *Expert Systems with Applications*, 40(10), 4035-4043. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.01.005>
- Qiu, X. S., Zhang, Y. H., Wu, J. Y., & Ma, X. M. (2012). Method of grouping and cutting pattern of cutting problem of two-dimensional plate. *Advanced Materials Research*, 462, 194-198. doi: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.462.194>
- Queiroz, L. R. S., & Andretta, M. (2020). Two effective methods for the irregular knapsack problem. *Applied Soft Computing*, 95. doi: <http://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106485>
- Söke, A. ve Bingül, Z. (2005). İki boyutlu giyotinsiz kesme problemlerinin benzetilmiş tavlama algoritması ile çözümlerinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 8(1), 25-35. Erişim adresi: <http://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/384425>
- Verstichel, J., De Causmaecker, P., & Vanden Berghe, G. (2013). An improved best-fit heuristic for the orthogonal strip packing problem. *International Transactions in Operational Research*, 20(5), 711-730. doi: <http://doi.org/10.1111/itor.12030>
- Virk, A. K., & Singh, K. (2019). Application of nature inspired algorithms to optimize multi-objective two-dimensional rectangle packing problem. *Journal of Industrial Integration and Management*, 4(4). doi: <http://doi.org/10.1142/S2424862219500106>
- Wei, L., Hu, Q., Lim, A., & Liu, Q. (2018). A best-fit branch-and-bound heuristic for the unconstrained two-dimensional non-guillotine cutting problem. *European Journal of Operational Research*, 270(2), 448-4747. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.04.014>
- Wei, L. J., Qin, H., Cheang, B., & Xu, X. H. (2016). An efficient intelligent search algorithm for the two-dimensional rectangular strip packing problem. *International Transactions in Operational Research*, 23(1-2), 65-92. doi: <http://doi.org/10.1111/itor.12138>
- Wu, K., Min, X., & Zhang, D. (2019). Research on two-dimensional cutting problem with defects. *International Conference on Software Engineering and Service Science*. Erişim adresi: <http://c85689232ea394a8dc08a512c1f46793a2397178.vetisonline.com/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9040847>
- Yang, S., Han, S., & Ye, W. (2013). A simple randomized algorithm for two-dimensional strip packing. *Computers & Operations Research*, 40(1), 1-8. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cor.2012.05.001>

## NLP TRANSFORMERS: ANALYSIS OF LLMs AND TRADITIONAL APPROACHES FOR ENHANCED TEXT SUMMARIZATION

Yunus Emre ISIKDEMİR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Computer Engineering Department, Hacettepe University, Ankara, Turkey,  
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-7022-2854>

Keywords	Abstract
Text Summarization Transformers NLP LLM Deep Learning	<i>As the amount of the available information continues to grow, finding the relevant information has become increasingly challenging. As a solution, text summarization has emerged as a vital method for extracting essential information from lengthy documents. There are various techniques available for filtering documents and extracting the pertinent information. In this study, a comparative analysis is conducted to evaluate traditional approaches and state-of-the-art methods on the BBC News and CNN/DailyMail datasets. This study offers valuable insights for researchers to advance their research and helps practitioners in selecting the most suitable techniques for their specific use cases.</i>

### TRANSFORMER MİMARİSİ TABANLI METİN ÖZETLEME VE DOĞAL DİL ANLAMLANDIRMA

Anahtar Kelimeler	Öz
Metin Özetleme. Transformer Doğal Dil İşleme Büyük Dil Modelleri Derin Öğrenme	<i>Hızla büyüyen yüksek hacimli bilgi kaynaklarından faydalı bilgilere erişim, giderek zorlaşmaktadır. Bu soruna çözüm olarak geliştirilen metin özetleme yöntemleri, yüksek hacimli belgelerden önemli bilgilerin çıkarılmasında önemli bir role sahiptir. Belgeleri filtreleme ve ilgili bilgileri çıkarma amacıyla çeşitli teknikler mevcuttur. Bu çalışmada, BBC News ve CNN/DailyMail veri setleri üzerinde, geleneksel yaklaşımlar ile en güncel yöntemlerin karşılaştırmalı analizini sunmaktadır. Araştırmacılara ilerlemelerine katkı sağlayacak değerli bilgiler sunmakta ve uygulayıcıların özel kullanım durumlarına en uygun teknikleri seçmelerine yardımcı olmaktadır.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 27.05.2023

: 12.03.2024

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 27.05.2023

: 12.03.2024

\* Sorumlu yazar: [yemreisikdemir@gmail.com](mailto:yemreisikdemir@gmail.com)

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1303569>

#### 1. Introduction

In the age of excessive information, the ability to distill key insights from vast amounts of text data has become increasingly crucial. Text summarization, a subfield of natural language processing (NLP), has emerged as a valuable solution to tackle this challenge. By automatically condensing lengthy documents into concise summaries, text summarization techniques enable individuals to extract relevant information efficiently and make informed decisions.

A significant advancement in the field of NLP has been the introduction of transformer-based models. These models have revolutionized the way we approach various natural language understanding tasks. Generative Pre-trained Transformer (GPT) is an example of such models. They leverage large-scale neural networks with multiple layers. The purpose is to capture intricate linguistic patterns and generate coherent and contextually rich outputs. These language

models, trained on extensive amounts of text data, have demonstrated remarkable capabilities in

tasks such as machine translation, sentiment analysis, and question answering.

The emergence of large language models has had a profound impact on numerous domains, ranging from content creation and customer support to legal research and healthcare. With their ability to comprehend and generate human-like text, these models have the potential to enhance productivity, improve decision-making processes, and unlock novel applications in various industries. Text summarization stands as a significant beneficiary of these advancements, as large language models offer powerful tools for automatically generating accurate and informative summaries from diverse textual sources.

This research paper aims to delve into the importance of text summarization, NLP transformers, and large language models in the context of information retrieval and comprehension. By exploring the underlying mechanisms of text summarization algorithms,



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

examining the capabilities of transformer-based models, and discussing real-world applications, this study seeks to shed light on the potential benefits and challenges associated with leveraging these technologies.

In the following sections, it will be discussed the fundamental concepts of text summarization, highlighting different approaches and techniques employed to extract salient information. Subsequently, we will delve into the architecture and working principles of NLP transformers, elucidating their role in facilitating advanced natural language processing tasks. Finally, we will examine the impact of large language models on text summarization, emphasizing their significance in empowering users to make effective use of textual data by comparative analysis.

By comprehensively analyzing the intersection of text summarization, NLP transformers, and large language models, this research aims to contribute to the growing body of knowledge in this field, providing insights that can inform both researchers and practitioners in leveraging these technologies for information extraction and comprehension.

## 2. Related Works

The explosive growth of digital data in recent years has made it increasingly difficult to find relevant information among the vast amount of available data. To address this challenge, automatic text summarization has emerged as an effective solution that generates a concise summary of a large document containing essential information. In recent years, advancements in NLP and machine learning have greatly improved text summarization algorithms. State-of-the-art models can now produce informative and coherent summaries that are also easy to read.

There are two main categories of text summarization that are extractive and abstractive (El-Kassas, Salama, Rafea and Mohamed, 2021). Extractive summarization involves selecting important sentences or phrases from a document and combining them into a summary (Liu, Chen and Chen, 2020), while abstractive summarization generates a new summary by synthesizing information from the document (Zheng et al., 2020). Extractive summarization techniques are generally considered easier to implement and have been extensively studied. On the other hand, abstractive summarization is more challenging, requiring the system to understand the semantics of the input document and generate novel sentences (Gupta and Gupta, 2019).

Academic research in the field of text summarization is increasing, as this powerful tool gains significant attention for its diverse range of practical applications. One of the primary areas of focus in this research is the

development of more advanced algorithms and techniques for generating accurate and informative summaries of various types of text, including news articles, legal documents, and scientific papers (Altmami and Menai, 2022).

Rodríguez-Vidal et al. (2011) presents an introduce a novel test compilation comprising reputation reports, which condense tweet streams pertaining to 31 companies operating in the banking and automobile sectors. Distinguishing itself from the conventional summarization task, the generation of reputation reports necessitates the inclusion of priority signals in order to effectively tackle the task at hand. This methodology leverages an analogy between reputation reports and the issue of diversity in search, resulting in tangible benefits.

Widjanarko, Kusumaningrum and Surarso (2018) proposed a solution to help people acquire comprehensive online news information in Indonesian by using Latent Dirichlet Allocation (LDA) for automatic multi-document summarization based on sentence extraction. They employed an unsupervised learning approach and evaluated the performance of LDA and Significance Sentence methods in calculating sentence weights, using a range of alpha and beta parameters and compression rates.

Goularte, Nassar, Fileto and Saggion (2019) in their study, propose an automatic process for text assessment using fuzzy rules and correlated features to summarize texts with a relatively small number of fuzzy rules. They also conducted a comparative analysis of their proposed method against various existing approaches, and demonstrated its effectiveness by achieving promising results in terms of f-measure.

In their work, Cagliero, Garza, and Baralis (2019) present a novel approach to multilingual summarization. Their proposed algorithm utilizes frequent itemset mining and Latent Semantic Analysis (LSA) to extract concise summaries from sets of textual documents. The algorithm employs a combination of itemset and LSA-based strategies, using a greedy approach to select sentences that effectively cover latent concepts with minimal redundancy.

Widyassari et al. (2022) conducted a thorough review of text summarization studies from 2008 to 2019. Their investigation encompassed 85 scholarly articles from journals and conferences. The aim was to elucidate the prevailing research themes, emerging trends, as well as the datasets and preprocessing methods commonly employed in this domain of research. However, they did not address or discuss the latest NLP Transformers in their analysis.

Manojkumar, Mathi and Gao (2023) aims to find the most appropriate algorithm to summarize food or



restaurant reviews and enable users to save time while comprehending the reviews' essence. To achieve this goal, the authors conducted an empirical analysis of various unsupervised extraction-based text summarization techniques and determined that the LexRank method shows promising results.

Liu and Lapata (2019) introduce a general framework for text summarization using Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) as a document-level encoder. Their framework includes both extractive and abstractive models, with an extractive model built on top of the document-level encoder using intersentence Transformer layers. They also propose a new fine-tuning schedule for abstractive summarization that uses different optimizers for the encoder and the decoder to address the mismatch between the pretrained encoder and the untrained decoder.

Zhang, Wei and Zhou (2019) address the challenges of training neural extractive summarization models using heuristically created sentence-level labels. They propose a method called HIBERT (Hierarchical Bidirectional Encoder Representations from Transformers) for document encoding, which uses a pre-trained hierarchical transformer on unlabeled data. The pre-trained HIBERT is applied to the summarization model, resulting in significant improvements in performance on the CNN/DailyMail and New York Times datasets.

Lewis et al. (2019) presents an autoencoder architecture called Bidirectional Auto-Regressive Transformers (BART) that learns to reconstruct the original text from a corrupted version created by an arbitrary noising function. The model is based on a Transformer architecture and generalizes previous pre-training schemes such as BERT and GPT. The researchers assess various methods of introducing noise and determine that the most effective performance is achieved through the random rearrangement of sentence order and the utilization of a novel technique for filling in the gaps.

Zhang, Zhao, Saleh and Liu (2020) propose a pre-training objective for large Transformer-based encoder-decoder models specifically tailored for abstractive text summarization. A novel approach known as PEGASUS is introduced, which includes the extraction or concealment of significant sentences in an input document. These sentences are then combined into a single output sequence alongside the remaining sentences, resembling an extractive summary. The authors assess the performance of their most effective PEGASUS model on 12 distinct summarization tasks across various domains. Their evaluation shows that the model achieves state-of-the-art results on all 12 datasets, as measured by ROUGE scores. They also show that their model is able to adapt to low-resource

summarization datasets very quickly and achieves human-like performance on multiple datasets using human evaluation.

The following sections provide a detailed examination of the essential elements related to text summarization. This study thoroughly investigates a range of crucial components, including various text summarization techniques, modeling approaches, evaluation metrics, and preprocessing techniques.

### 3. Background

In this section, our focus is to present the terminologies related to text summarization. The purpose is to enhance the reader's understanding of the remaining sections of the paper, as well as the experimental outcomes.

#### 3.1. Text Summarization Techniques

There are two primary methods of achieving text summarization, extractive and abstractive, which are selected based on the specific problem at hand. In this section, each method will be investigated in detail.

##### 3.1.1. Extractive Summarization

Extractive summarization is a subfield of NLP that involves automatically identifying and extracting the most important information from a text document and presenting it in a condensed form. The extracted information is usually presented in the form of a summary, which captures the main points of the original text and allows users to quickly understand the content of the document without having to read the entire thing. This method, only selects and presents information that is already present in the text instead of generation.

There are several techniques used in extractive summarization. One common approach is to use sentence scoring, which involves assigning a score to each sentence in the document based on its relevance to the overall content (Verma and Om, 2019). The sentences with the highest scores are then selected to be included in the summary shown in Figure 1.

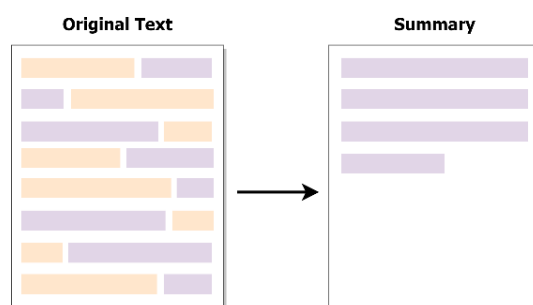


Figure 1. Extractive Text Summarization

Sentence scoring can be done using various methods, such as:

**Frequency-based methods:** These methods assign a score to each sentence based on the frequency of the words it contains. Sentences that contain more frequently occurring words are considered more important (Abdel-Salam and Rafea, 2022) shown in Figure 2.



Figure 2. Most Frequent Words in Entertainment Category of BBC Dataset

**Graph-based methods:** These methods represent the document as a graph (Vhatkar, Bhattacharyya and Arya, 2020), where the sentences are nodes and the edges between them represent their semantic similarity. The sentences with the highest centrality in the graph are considered the most important shown in Figure 3.

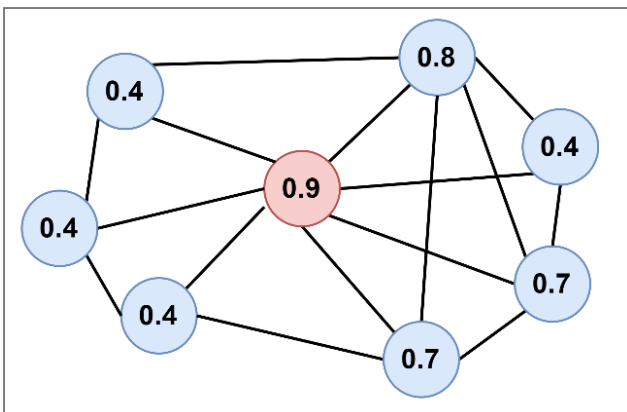


Figure 3. Most Frequent Words in Entertainment Category of BBC Dataset

**Machine learning-based methods:** These methods involve training a machine learning model to predict

the importance of each sentence (Abdelaleem, Kader and Salem, 2019) based on various features such as the length of the sentence, the presence of certain keywords, and the context in which the sentence appears.

### 3.1.2. Abstractive Summarization

Abstractive summarization is a NLP technique that involves generating a summary of a text document that is not a verbatim copy of any sentence in the original document. Instead, the summary is generated by synthesizing the important information from the document in a way that captures the essence of the original text.

Unlike extractive summarization, which simply selects the most important sentences from a document, abstractive summarization involves understanding the meaning of the text and generating new sentences to express that meaning in a more concise form (Ramina, Darnay, Lubde and Dhruv, 2020).

The process of abstractive summarization involves following steps:

- **Text pre-processing:** The text is pre-processed to remove noise and irrelevant information, such as stop words and punctuation.
- **Text representation:** The text is represented in a way that can be easily processed by a machine learning model. This could involve techniques such as tokenization, stemming, and vectorization.
- **Neural network training:** A neural network is trained to learn the relationship between the input text and the desired summary. The neural network could use techniques such as encoder-decoder models, attention mechanisms, and reinforcement learning to generate a summary (Syed, Gaol and Matsuo, 2021).
- **Summary generation:** Once the neural network is trained, it can be used to generate a summary for a given input text. The generated summary should capture the essence of the original text in a concise and coherent form.

There are several challenges associated with abstractive summarization. One major challenge is the ability of the neural network to capture the nuances and context of the original text. This requires a deep understanding of the meaning and structure of language, as well as the ability to generate coherent and grammatically correct sentences. Another challenge is the ability of the neural network to deal with out-of-vocabulary (OOV) words (Shi, Keneshloo, Ramakrishnan and Reddy, 2021), which are words that

are not present in the training data. This can be addressed by using techniques such as word embedding and transfer learning.

Abstractive summarization has many applications, such as summarizing news articles, social media posts, and product reviews. However, it is still an active area of research, and there are many open challenges and opportunities for improvement.

### 3.2. Modeling Approaches

Numerous approaches to text summarization exist in the literature, each utilizing distinct techniques and perspectives to address the challenge of shortening text while preserving its key content. This section aims to explore these approaches, as text summarization is a crucial task in NLP that can enhance information retrieval and consumption. Various modeling approaches, including statistical and machine learning-based techniques, have been proposed for text summarization, with some relying on extractive methods and others on abstractive ones. To determine the most suitable approach for specific applications, it is important to compare the strengths and weaknesses of these approaches and evaluate their performance using different metrics.

#### 3.2.1. Unsupervised Learning Approach

Unsupervised learning approaches for text summarization involve training a model on a large corpus of unannotated data (Joshi, Fidalgo, Alegre and Fernandez, 2019), without any human supervision. These models aim to extract the most important information from the input text and generate a summary that captures the key points.

**Clustering:** In this approach, the input text is first segmented into smaller units, such as sentences or paragraphs. Next, a clustering algorithm is applied to group similar units together. The resulting clusters represent different topics or themes in the input text. Finally, a summary is generated by selecting the most representative units from each cluster (Nazari and Mahdavi, 2019).

**Graph-based:** The approach is based on graph-based methods. In this approach, the input text is represented as a graph, where nodes represent words or sentences, and edges represent their relationships (Ramesh, Srinivasa and Pramod, 2014). The graph is then analyzed to identify the most important nodes, based on metrics such as degree centrality or betweenness centrality. These important nodes are then used to construct a summary that captures the key information in the input text.

**Topic Modeling:** In this approach, a topic model is trained on the input text to identify the underlying topics or themes. The most representative sentences

for each topic are then selected to generate a summary that captures the key points of the input text (Wu et al., 2017).

#### 3.2.2. Supervised Learning Approach

Supervised learning approaches for text summarization involve training a model on a labeled dataset, where each input text is paired with its corresponding summary. These models aim to learn the mapping between input texts and their corresponding summaries and generate summaries for new texts based on this learned mapping.

**Sequence-to-sequence (Seq2Seq) models:** In this approach, the input text is first encoded into a fixed-length vector using an encoder network, such as a long short-term memory (LSTM) which is a type of recurrent neural network (RNN) and specifically designed to handle the vanishing gradient problem (Isikdemir and Yavuz, 2022). The encoder network learns to capture the meaning and context of the input text. Next, a decoder network, such as an RNN or a transformer, is used to generate a summary based on the encoded input text (Li, Xu, Li and Gao, 2018). The decoder network learns to generate a summary that captures the most important information in the input text, while minimizing the loss between the generated summary and the ground truth summary.

**Pointer-generator networks:** In this approach, the model learns to generate summaries by selectively copying words from the input text or generating new words (See, Liu and Manning, 2018). The model consists of an encoder network as shown in Figure 4, which encodes the input text into a fixed-length vector, and a decoder network, which generates the summary by selectively copying words from the input text or generating new words. The pointer-generator network can handle out-of-vocabulary words and generate more fluent summaries compared to Seq2Seq models.

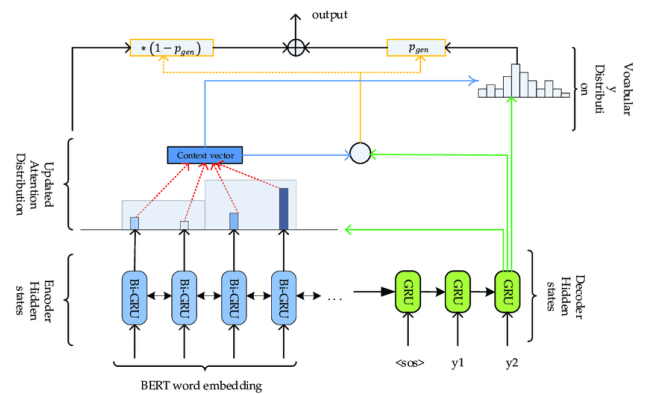


Figure 4. Pointer-generator Network (Wang et al. 2019)

**Transformers:** In this approach, the input text is first encoded into a sequence of vectors using a transformer encoder network as shown in Figure 5, such as BERT or GPT. The transformer encoder network learns to capture the meaning and context of the input text by leveraging a pre-trained language model that has been trained on a large corpus of texts. Next, a transformer decoder network is used to generate the summary based on the encoded input text (Cai, Shen, Peng, Jiang and Dai, 2019). The transformer decoder network learns to generate a summary that captures the most important information in the input text, while minimizing the loss between the generated summary and the ground truth summary.

from the input text. Furthermore, they exhibit proficiency in processing texts featuring intricate or domain-specific language, as the models can learn to comprehend the specific language and content of the input texts. Nevertheless, these deep learning methods require substantial amounts of data for training and may involve computational expenses during both training and deployment stages (Yadav, 2022).

**3.3. Evaluation Metrics**

Evaluating the quality of a text summary is a challenging task, as it involves measuring how well the summary captures the key information and important details of the original text. Several evaluation metrics have been proposed to measure the quality of text summaries, and each metric has its own strengths and weaknesses.

**ROUGE:** ROUGE (Lin, 2004) stands for Recall-Oriented Understudy for Gisting Evaluation and is a family of metrics that measure the overlap between the generated summary and the reference summary at different levels of granularity, such as word, sentence, or n-gram (Equation (1), (2) and (3)). ROUGE metrics are widely used in the text summarization community because they are simple to compute and correlate well with human judgments of summary quality.

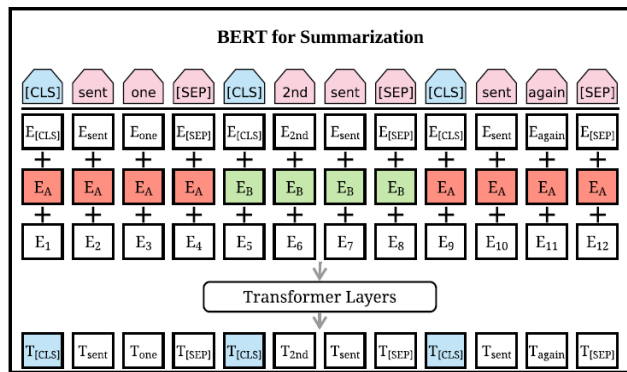


Figure 5. Transformer Architecture (Liu and Lapata, 2019)

**Reinforcement Learning:** In this approach, the model learns to generate summaries by maximizing a reward signal that measures the quality of the generated summary. The model consists of an encoder network, which encodes the input text into a fixed-length vector, and a decoder network, which generates the summary (Yao, Zhang, Luo and Wu, 2018). During training, the model generates multiple summaries for each input text, and the best summary is selected based on a reward signal that measures the quality of the generated summary.

Supervised learning approaches for text summarization offer advantages such as the production of coherent and readable summaries when compared to unsupervised methods. They excel at handling texts with intricate or domain-specific language, thanks to their training on labeled datasets that encompass the specific language and content of input texts. However, these approaches necessitate abundant labeled data for effective training and might struggle to generalize well beyond the training dataset (Moratanch, 2017). On the other hand, deep learning approaches for text summarization possess their own set of advantages. They are capable of generating high-quality summaries that effectively capture the most crucial information

$$ROUGE_1 = \frac{\text{Number of overlapping unigrams}}{\text{Number of unigrams in reference summary}} \quad (1)$$

$$ROUGE_2 = \frac{\text{Number of overlapping bigrams}}{\text{Number of bigrams in reference summary}} \quad (2)$$

$$ROUGE_L = \frac{\text{Longest common subsequence (LCS) length}}{\text{Number of words in reference summary}} \quad (3)$$

**METEOR:** Meteor, stands for Metric for Evaluation of Translation with Explicit ORdering, is a special metric designed to assess the effectiveness of machine translation and text summarization systems. It employs a weighted F-score based on unigram matches and penalizes deviations in word order (Equation (4), (5), (6) and (7)). The F1 score serves as a metric for assessing both precision and recall in the generated summary compared to the reference summary. This score is calculated by determining the harmonic mean of precision and recall scores (Goutte and Gaussier, 2005). Precision evaluates the proportion of the generated summary found in the reference summary, while recall assesses the percentage of the reference summary captured in the generated summary.

$$P = \frac{m}{c}, R = \frac{m}{r} \quad (4)$$

$$F_{mean} = \frac{P \cdot R}{\alpha \cdot P + (1-\alpha) \cdot R} \quad (5)$$

$$Penalty = \gamma \left(\frac{C_m}{m}\right)^\beta \quad (6)$$

$$METEOR = F_{mean} \cdot (1 - Penalty) \quad (7)$$

where  $C_m$  represents matching chunks, a chunk being a set of adjacent unigrams in both reference and candidate.  $m$  counts mapped unigrams between reference and candidate. The maximum penalty is determined by the value of  $\gamma$ , while the functional relationship between fragmentation and the penalty is influenced by the value of  $\beta$ .

**BLEU:** Bilingual Evaluation Understudy, BLEU (Papineni, Roukos, Ward and Zhu, 2002), is a popular evaluation metric used in text summarization to measure the quality of machine-generated summaries by comparing them with one or more reference summaries created by humans (Equation (5), (6) and (7)). This metric calculates the similarity between the generated summary and the reference summaries by comparing the words that are common between them. The BLEU score ranges from 0 to 1, where a score of 1 means the generated summary perfectly matches the reference summaries. While BLEU is widely used, it has some limitations, such as not considering the coherence and meaning of the summary, and being biased towards shorter summaries.

$$BLEU = BP \times \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log(p_i)\right) \quad (5)$$

$$BP = \begin{cases} 1, & \text{if } c > r \\ \exp\left(1 - \frac{r}{c}\right), & \text{if } c \leq r \end{cases} \quad (6)$$

$$p_i = \frac{\text{Number of matching n-grams}}{\text{Number of n-grams in candidate}} \quad (7)$$

where the variable  $n$  represents the maximum order of  $n$ -grams used for comparison,  $c$  is the length of the candidate translation, and  $r$  is the length of the reference translation.  $BP$  represents the brevity penalty term, which adjusts the BLEU score to penalize shorter translations.

**Intuitive:** Human evaluation is also an important component of text summarization evaluation. Human evaluation involves having human judges rate the quality of the generated summaries (Bhandari, Gour, Ashfaq, Liu and Neubig, 2020) based on various criteria, such as readability, coherence, and informativeness. Human evaluation is often used to validate the results of automatic evaluation metrics and

to provide a more nuanced understanding of the quality of the generated summaries.

Evaluating the quality of text summarization is a complex task that requires the use of multiple evaluation metrics and human evaluation. ROUGE, F1 score, and BLEU are some of the commonly used automatic evaluation metrics, while human evaluation is used to provide a more nuanced understanding of the quality of the generated summaries.

#### 4. Methodology

The primary aim of this study is to compare and assess the effectiveness of different document summarization techniques on the BBC news (Greene, and Cunningham, 2006) and CNN/DailyMail (Hermann et al., 2015) dataset to provide valuable insights for both researchers and practitioners in the field. The BBC news dataset consists of 2225 documents, obtained from the BBC news website, covering five various topics including business, entertainment, politics, sport, and technology. On the other hand, the CNN/DailyMail dataset is created by researchers from University of Oxford to train document summarizer models. The dataset comprises 300k unique news articles sourced from the Daily Mail website along with bullet point summaries crafted by human editors. The articles encompass a wide range of subjects, encompassing politics, sports, entertainment, and beyond. Before analysis, the dataset is subjected to preprocessing to ensure the text is clean and ready for evaluation. To achieve the research objective, multiple text summarization techniques such as extractive, abstractive, and topic-based summarization are employed. The effectiveness of each technique is

evaluated using ROUGE-1, ROUGE-2 and ROUGE-L scores which are widely used in extractive summarization tasks (Liu, 2019; Zhong et al., 2020; Verma, Gupta, Anil, and Chauhan, 2022) due to their focuses on content overlap, particularly emphasizing recall oriented evaluation that measures how well generated summaries align with reference summaries. On the other hand, BLEU and METEOR scores are not used for evaluation in this study because these metrics heavily used on the text generation tasks such as machine translation (Bansal, Kamper, Livescu, Lopez, and Goldwater, 2018). The findings of this research are presented in detail in the experimental results section, and the comparative analysis pipeline is visually represented in Figure 6. Text preprocessing is an essential step in preparing data for text summarization. It involves several techniques that help to clean and transform the raw text into a format that is suitable for analysis. Some of the most common preprocessing techniques include removing punctuation, converting all text to lowercase, eliminating stopwords, and performing lemmatization. Removing punctuation

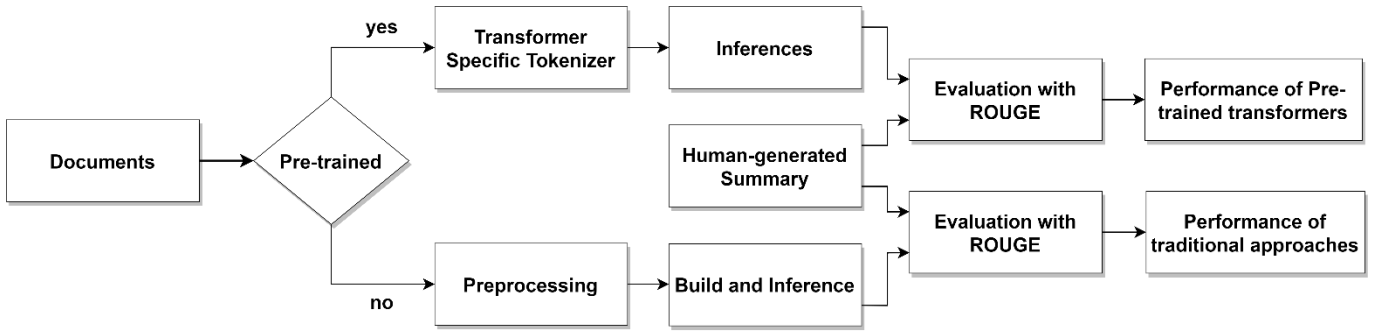


Figure 6. Text Summarization Comparative Analysis Methodology

helps to simplify the text and prevent the summarization algorithm from being confused by extraneous characters. Lowercasing the text ensures that words with different capitalizations are treated as the same, reducing redundancy in the summary. Eliminating stopwords, which are commonly used words such as "the" and "and," also helps to reduce redundancy and improve the quality of the summary. Lemmatization involves reducing words to their base form, which helps to further simplify the text and make it easier to understand. Finally, counting word frequencies helps to identify the most important and frequently used words in the document, which can inform the summarization process and ensure that the summary captures the most salient points of the original text.

In the subsequent section, the presentation of experimental findings will be encompassed, elucidating the efficacy of individual algorithms within diverse domains such as business, entertainment and sport.

### 5. Experimental Results

Hardware plays a crucial role in effectively training and deploying neural networks. The choice of hardware is critical as it significantly impacts the scalability and performance of deep learning models. The processing power and memory capacity of the hardware directly influence the training speed, result accuracy, and ability to handle large datasets. In this investigation, we employed a specific experimental setup comprising a GIGABYTE GeForce GTX1070 graphics processing unit, 16GB of 3000Mhz DDR4 Dual Kit random Access memory, and an INTEL Core i5 8400 2.8GHz 9MB cache 6-core central processing unit.

This study aims to evaluate the effectiveness of various text summarization techniques, namely frequency-based text summarization, latent semantic analysis-based text summarization, and graph-based text ranking. Additionally, three state-of-the-art

transformer models, namely BART Large Transformer, PEGASUS Transformer, and DistilBART Transformer, are employed to benchmark the text summarization task. The benchmark evaluation is conducted on

diverse domains, including business, entertainment, and sport news articles sourced from BBC. The experiments are also conducted on CNN/DailyMail news dataset which includes more technical and complex documents than BBC news dataset. By exploring these techniques and transformer models across multiple domains, this study seeks to provide valuable insights into the performance and applicability of different approaches in text summarization. The benchmark results for the business category obtained from BBC news are presented in Table 1.

Table 1. Benchmark Results for Business Category

Algorithm	ROUGE-1	ROUGE-2	ROUGE-l
Frequency Based	54.92	44.46	54.36
LSA	<b>55.08</b>	<b>50.13</b>	<b>59.92</b>
TextRank	33.41	18.83	33.08
BART large	42.23	27.43	41.04
DistilBART	44.95	29.85	43.73
PEGASUS	38.37	25.53	37.46

Based on the results achieved in Table 1, when comparing the performance of algorithms in the business category using ROUGE-1, ROUGE-2, and ROUGE-l metrics, LSA demonstrated the highest scores, indicating its strong ability to capture semantic meaning and generate summaries that align well with reference summaries. While Frequency-Based, BART Large, DistilBART, and Pegasus also performed reasonably well, outperforming TextRank, they fell short of the performance achieved by LSA. TextRank yielded the lowest scores, suggesting its limited effectiveness in generating summaries for the business category. It's worth emphasizing that the transformer models used in this context were not fine-tuned specifically for this dataset. However, they can be fine-tuned to improve performance within the specific domain. On the contrary, LSA, which delivered the highest performance in this task, is not inherently trainable. Additionally, it is important to consider the

specific dataset, reference summaries, and evaluation metrics employed when evaluating algorithm performance, as these factors heavily influence the results.

Table 2 shows the benchmark outcomes from BBC news specifically for the technology category.

Table 2. Benchmark Results for Technology Category

Algorithm	ROUGE-1	ROUGE-2	ROUGE-l
Frequency Based	52.24	42.41	54.47
LSA	<b>54.24</b>	<b>48.07</b>	<b>58.92</b>
TextRank	33.20	18.63	33.55
BART large	42.72	26.83	41.43
DistilBART	45.24	28.86	44.12
PEGASUS	32.94	24.47	37.83

Considering the results achieved in Table 2, LSA once again showcased the most impressive scores, closely matching the reference summaries. Additionally, BART Large and DistilBART also produced satisfactory results when considering the ROUGE metric. However, PEGAUS and TextRank yielded unsatisfactory outcomes.

Table 3 presents the benchmark results obtained from BBC news, focusing specifically on the sport category.

Table 3. Benchmark Results for Sport Category

Algorithm	ROUGE-1	ROUGE-2	ROUGE-l
Frequency Based	49.17	41.24	51.64
LSA	<b>51.86</b>	<b>46.73</b>	<b>56.23</b>
TextRank	27.46	16.19	28.66
BART large	39.46	27.32	41.57
DistilBART	40.93	27.76	42.37
PEGASUS	37.37	29.25	40.81

Based on the outcomes presented in Table 3, LSA demonstrated exceptional performance with scores that closely resembled the reference summaries. The ROUGE metric indicated that BART Large and DistilBART also performed well, yielding satisfactory results. However, PEGAUS and TextRank, on the other hand, produced unsatisfactory outcomes.

The experiments were performed using the CNN/DailyMail dataset, which comprises a collection of documents that are more intricate and technically advanced compared to those present in the BBC News dataset. The outcomes of this particular experiment are presented in Table 4.

Table 4. Benchmark Results for CNN/DailyMail Dataset

Algorithm	ROUGE-1	ROUGE-2	ROUGE-l
Frequency Based	21.16	7.90	23.46
LSA	23.45	9.33	25.89
TextRank	16.91	4.20	17.36
BART large	<b>44.18</b>	<b>22.36</b>	<b>41.18</b>
DistilBART	43.36	21.16	40.89
PEGASUS	43.28	22.13	40.36

Based on the findings presented in Table 4, it is evident that transformer-based architectures exhibit a significantly higher level of performance compared to traditional approaches. Notably, the BART large model emerges as the frontrunner, demonstrating the most superior performance among the evaluated models. It is crucial to emphasize that these transformer-based models have undergone a process of fine-tuning on the CNN/DailyMail dataset, enabling them to better capture the relationships between sentences, particularly when compared to the traditional approach employed on the comparatively more complex dataset than BBC news. These findings illustrate that fine-tuning transformer-based architectures on a specific dataset results in significantly improved performance compared to conventional approaches.

## 5. Conclusion

Text summarization has become an invaluable tool for retrieving and managing information across various domains. This paper provides a comprehensive overview of text summarization techniques, covering both extractive and abstractive approaches, as well as different modeling methods such as unsupervised, supervised, and deep learning. Comparative analysis are also conducted on BBC News and CNN/DailyMail datasets. By comparing NLP transformers with traditional methods using these datasets, the study highlights their respective strengths and limitations. Surprisingly, the experimental results indicate that even the seemingly outdated LSA-based text summarization technique can yield satisfactory results in specific use cases and domains. These findings underscore the importance of considering the specific requirements and characteristics of a given domain when selecting an appropriate text summarization method. However, transformer-based architectures possess the ability to be trained and acquire a profound understanding of intricate relationships. Therefore, when trained on a specific problem, these models surpass traditional approaches in terms of performance. As the field of text summarization continues to evolve, further research and exploration are essential to enhance the effectiveness and

applicability of these techniques in addressing real-world information challenges.

### Conflict of Interest

We declared that there is no conflict of interest between the authors and their respective institutions. This study adheres to the ethical standards and principles governing scientific research and publishing.

### Contributions of the Authors

In this study, all of the work is conducted by Yazar1.

### References

- Abdel-Salam, S., & Rafea, A. (2022). Performance study on extractive text summarization using BERT models. *Information*, 13(2), 67. <https://doi.org/10.3390/info13020067>.
- Abdelaleem, N. M., Kader, H. A., & Salem, R. (2019). A brief survey on text summarization techniques. *IJ of Electronics and Information Engineering*, 10(2), 103-116.
- Altmami, N. I., & Menai, M. E. B. (2022). Automatic summarization of scientific articles: A survey. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 34(4), 1011-1028.
- Bansal, S., Kamper, H., Livescu, K., Lopez, A., & Goldwater, S. (2018). Low-resource speech-to-text translation. *arXiv preprint arXiv:1803.09164*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.09164>.
- Bhandari, M., Gour, P., Ashfaq, A., Liu, P., & Neubig, G. (2020). Re-evaluating evaluation in text summarization. *arXiv preprint arXiv:2010.07100*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.07100>.
- Cagliero, L., Garza, P., & Baralis, E. (2019). ELSA: A multilingual document summarization algorithm based on frequent itemsets and latent semantic analysis. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 37(2), 1-33. <https://doi.org/10.1145/3298987>.
- Cai, T., Shen, M., Peng, H., Jiang, L., & Dai, Q. (2019). Improving transformer with sequential context representations for abstractive text summarization. In *Natural Language Processing and Chinese Computing: 8th CCF International Conference, NLPCC 2019, Dunhuang, China, October 9-14, 2019, Proceedings, Part I* (pp. 512-524). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32233-5\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32233-5_40).
- El-Kassas, W. S., Salama, C. R., Rafea, A. A., & Mohamed, H. K. (2021). Automatic text summarization: A comprehensive survey. *Expert systems with applications*, 165, 113679. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113679>.
- Goutte, C., & Gaussier, E. (2005). A probabilistic interpretation of precision, recall and F-score, with implication for evaluation. In *Advances in Information Retrieval: 27th European Conference on IR Research, ECIR 2005, Santiago de Compostela, Spain, March 21-23, 2005. Proceedings 27* (pp. 345-359). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-31865-1\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-540-31865-1_25).
- Greene, D., & Cunningham, P. (2006). Practical solutions to the problem of diagonal dominance in kernel document clustering. In *Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning* (pp. 377-384). <https://doi.org/10.1145/1143844.1143892>.
- Gupta, S., & Gupta, S. K. (2019). Abstractive summarization: An overview of the state of the art. *Expert Systems with Applications*, 121, 49-65. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.011>.
- Hermann, K. M., Kocisky, T., Grefenstette, E., Espeholt, L., Kay, W., Suleyman, M., & Blunsom, P. (2015). Teaching machines to read and comprehend. *Advances in neural information processing systems*, 28.
- Isikdemir, Y. E., & Yavuz, H. S. (2022). The scalable fuzzy inference-based ensemble method for sentiment analysis. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022.
- Joshi, A., Fidalgo, E., Alegre, E., & Fernández-Robles, L. (2019). SumCoder: An unsupervised framework for extractive text summarization based on deep auto-encoders. *Expert Systems with Applications*, 129, 200-215. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.03.045>.
- Lewis, M., Liu, Y., Goyal, N., Ghazvininejad, M., Mohamed, A., Levy, O., ... & Zettlemoyer, L. (2019). Bart: Denoising sequence-to-sequence pre-training for natural language generation, translation, and comprehension. *arXiv preprint arXiv:1910.13461*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.13461>.
- Li, C., Xu, W., Li, S., & Gao, S. (2018). Guiding generation for abstractive text summarization based on key information guide network. In *Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 2 (Short Papers)* (pp. 55-60). <https://doi.org/10.18653/v1/N18-2009>.



- Lin, C. Y. (2004). Rouge: A package for automatic evaluation of summaries. In *Text summarization branches out* (pp. 74-81).
- Liu, S. H., Chen, K. Y., & Chen, B. (2020). Enhanced language modeling with proximity and sentence relatedness information for extractive broadcast news summarization. *ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing (TALLIP)*, 19(3), 1-19. <https://doi.org/10.1145/3377407>.
- Liu, Y., & Lapata, M. (2019). Text summarization with pretrained encoders. *arXiv preprint arXiv:1908.08345*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.08345>.
- Liu, Y. (2019). Fine-tune BERT for extractive summarization. *arXiv preprint arXiv:1903.10318*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1903.10318>.
- Manojkumar, V. K., Mathi, S., & Gao, X. Z. (2023). An Experimental Investigation on Unsupervised Text Summarization for Customer Reviews. *Procedia Computer Science*, 218, 1692-1701. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.147>.
- Nazari, N., & Mahdavi, M. A. (2019). A survey on automatic text summarization. *Journal of AI and Data Mining*, 7(1), 121-135. <https://doi.org/10.22044/jadm.2018.6139.1726>.
- Papineni, K., Roukos, S., Ward, T., & Zhu, W. J. (2002). Bleu: a method for automatic evaluation of machine translation. In *Proceedings of the 40th annual meeting of the Association for Computational Linguistics* (pp. 311-318).
- Ramesh, A., Srinivasa, K. G., & Pramod, N. (2014). SentenceRank—a graph based approach to summarize text. In *The Fifth International Conference on the Applications of Digital Information and Web Technologies (ICADIWT 2014)* (pp. 177-182). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICADIWT.2014.6814680>.
- Ramina, M., Darnay, N., Ludbe, C., & Dhruv, A. (2020). Topic level summary generation using BERT induced Abstractive Summarization Model. In *2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)* (pp. 747-752). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICCS48265.2020.9120997>.
- Rodríguez-Vidal, J., Carrillo-de-Albornoz, J., Amigó, E., Plaza, L., Gonzalo, J., & Verdejo, F. (2020). Automatic generation of entity-oriented summaries for reputation management. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11, 1577-1591. <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01255-9>.
- See, A., Liu, P. J., & Manning, C. D. (2017). Get to the point: Summarization with pointer-generator networks. *arXiv preprint arXiv:1704.04368*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1704.04368>.
- Shi, T., Keneshloo, Y., Ramakrishnan, N., & Reddy, C. K. (2021). Neural abstractive text summarization with sequence-to-sequence models. *ACM Transactions on Data Science*, 2(1), 1-37. <https://doi.org/10.1145/3419106>.
- Syed, A. A., Gaol, F. L., & Matsuo, T. (2021). A survey of the state-of-the-art models in neural abstractive text summarization. *IEEE Access*, 9, 13248-13265. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3052783>.
- Verma, P., & Om, H. (2019). A novel approach for text summarization using optimal combination of sentence scoring methods. *Sādhanā*, 44, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12046-019-1082-4>.
- Verma, S., Gupta, N., Anil, B. C., & Chauhan, R. (2022). A Novel Framework for Ancient Text Translation Using Artificial Intelligence. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, 11(4), 411-425. <https://doi.org/10.14201/adcaij.28380>.
- Vhatkar, A., Bhattacharyya, P., & Arya, K. (2020). Knowledge graph and deep neural network for extractive text summarization by utilizing triples. In *Proceedings of the 1st joint workshop on financial narrative processing and multiling financial summarisation* (pp. 130-136).
- Wang, Q., Liu, P., Zhu, Z., Yin, H., Zhang, Q., & Zhang, L. (2019). A text abstraction summary model based on BERT word embedding and reinforcement learning. *Applied Sciences*, 9(21), 4701. <https://doi.org/10.3390/app9214701>.
- Widjanarko, A., Kusumaningrum, R., & Surarso, B. (2018). Multi document summarization for the Indonesian language based on latent dirichlet allocation and significance sentence. In *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)* (pp. 520-524). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICOIACT.2018.8350668>.
- Widyassari, A. P., Rustad, S., Shidik, G. F., Noersasongko, E., Syukur, A., & Affandy, A. (2022). Review of automatic text summarization techniques & methods. *Journal of King Saud University-Computer*

- and Information Sciences*, 34(4), 1029-1046.  
<https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.05.006>.
- Wu, Z., Lei, L., Li, G., Huang, H., Zheng, C., Chen, E., & Xu, G. (2017). A topic modeling based approach to novel document automatic summarization. *Expert Systems with Applications*, 84, 12-23.  
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.04.054>.
- Yao, K., Zhang, L., Luo, T., & Wu, Y. (2018). Deep reinforcement learning for extractive document summarization. *Neurocomputing*, 284, 52-62.  
<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.01.020>.
- Zhang, X., Wei, F., & Zhou, M. (2019). HIBERT: Document level pre-training of hierarchical bidirectional transformers for document summarization. *arXiv preprint arXiv:1905.06566*.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.06566>.
- Zhang, J., Zhao, Y., Saleh, M., & Liu, P. (2020). Pegasus: Pre-training with extracted gap-sentences for abstractive summarization. In *International Conference on Machine Learning* (pp. 11328-11339). PMLR.
- Zheng, J., Zhao, Z., Song, Z., Yang, M., Xiao, J., & Yan, X. (2020). Abstractive meeting summarization by hierarchical adaptive segmental network learning with multiple revising steps. *Neurocomputing*, 378, 179-188.  
<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.10.019>.
- Zhong, M., Liu, P., Chen, Y., Wang, D., Qiu, X., & Huang, X. (2020). Extractive summarization as text matching. *arXiv preprint arXiv:2004.08795*.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.08795>.

**SODIUM DITHIONITE AS A PYRITE DEPRESSANT IN GOLD ORE FLOTATION**Semih OLUKLULU<sup>1\*</sup>, Volkan BOZKURT<sup>2</sup>, Yaşar UÇBAŞ<sup>3</sup><sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-5338-8251><sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-8617-5631><sup>3</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-5757-875X>

Keywords	Abstract
Flotation Gold Chalcopyrite Pyrite Sodium dithionite	<i>Sodium dithionite (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) is a widely used reducing agent to control pulp potential (Eh) and pyrite depressant in sulfide ore flotation. In this study, the pyrite depressant effect of sodium dithionite on gold ore flotation was investigated at pH 8 and pH 10.5 comparatively in terms of gold, chalcopyrite, and pyrite recoveries and grades. The presence of sodium dithionite resulted in a drop of approximately 50–70 mV in the Eh values, regardless of the studied pH values, confirming the reducing effect of sodium dithionite. The effects of sodium dithionite on gold and chalcopyrite grades and recoveries were quite limited, especially at pH 10.5. At pH 8, the utilization of sodium dithionite slightly decreased gold and chalcopyrite recovery and grades, while the decrease in pyrite recovery and grades was remarkable. Both pyrite recovery and grade were reduced from 79.5% to 54.7% and 15.3% to 10.7% by the utilization of sodium dithionite at pH 8. In conclusion, it is considered that the selective flotation of gold and chalcopyrite from pyrite can be achieved at a lower pH accompanied by a slightly reduced Eh by the utilization of sodium dithionite.</i>

**ALTIN CEVHERİ FLOTASYONUNDA BİR PİRİT BASTIRICI OLARAK SODYUM DİTİYONİT**

Anahtar Kelimeler	Öz
Flotasyon Altın Kalkopirit Pirit Sodyum ditiyonit	<i>Sodyum ditiyonit (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) sülfürlü cevherlerin flotasyonunda pülp potansiyelini (Eh) düşürmek ve pirit bastırmak için yaygın olarak kullanılan bir indirgeyicidir. Bu çalışmada sodyum ditiyonitin altın cevheri flotasyonunda pirit bastırıcı etkisi pH 8 ve 10,5'ta altın, kalkopirit ve pirit verim ve tenörleri açısından karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Sodyum ditiyonitin varlığı, etkisi incelenen pH değerlerinden bağımsız olarak Eh değerlerinde, 50-70 mV bir düşüşe neden olmuştur. Bu da sodyum ditiyonitin indirgeyici etkisine işaret etmektedir. Sodyum ditiyonitin altın ve kalkopiritin verim ve tenörleri üzerindeki etkisi özellikle pH 10,5'ta oldukça sınırlıdır. Buna karşın, sodyum ditiyonit pH 8'de altın ve kalkopirit verim ve tenörlerini az miktarda düşürürken, pirit verim ve tenörü üzerinde dikkat çekiçi bir düşüş sağlamıştır. Sodyum ditiyonitin pH 8'deki kullanımı sonucunda pirit verimi %79,5'ten %54,7'ye düşerken, pirit tenörü %15,3'ten %10,7'ye gerilemiştir. Sonuç olarak, sodyum ditiyonit kullanımı ile altın ve kalkopiritin, pirit seçimli olarak yüzdürülmesinin daha düşük pH değerinde, Eh değerinin bir miktar azaltılarak elde edilebileceği düşünülmektedir.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 18.08.2023

Kabul Tarihi : 08.02.2024

Research Article

Submission Date : 18.08.2023

Accepted Date : 08.02.2024

\* Sorumlu yazar: [soluklulu@ogu.edu.tr](mailto:soluklulu@ogu.edu.tr)  
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1345792>**1. Introduction**

Gold can occur in ores with a wide range of minerals, mainly in native form to a lesser degree as metal alloys, within iron and base metal sulfides, silicates, carbonates, and oxide minerals (O'Connor and Dunne,

1994). Sulfide ores account for a significant portion of gold production today, and flotation is a well-accepted method to process these ores because it is selective, flexible, and cost-effective (Klimpel, 1997; Teague, Van Deventer, and Swaminathan, 1999).



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

It is well known that naturally occurring gold can easily be floated with little or no collector addition in a wide pH range (Aksoy and Yarar, 1989; Allan and Woodcock, 2001; Forrest, Yan, and Dunne, 2001; Oluklulu, Gökçen, Bozkurt, and Ucbas, 2019). However, gold ores are commonly found with a wide range of sulfide minerals, which affects flotation performance significantly (Klimpel, 1999). Differential flotation of gold from these types of ores usually involves unique applications that strongly depend on the ore mineralogy (Bulatovic, 1997; Dunne, 2016).

In most gold-chalcopyrite mineral occurrences, pyrite can be found as the most common host mineral for both gold and chalcopyrite (Chandra and Gerson, 2009; Small, Michelmore, and Grano, 2003). Differential flotation of gold and chalcopyrite from pyrite is an important issue in order to achieve economical beneficiation of gold where liberation is not a problem (Agorhom, Skinner, and Zanin, 2015). As a solution, different approaches have been suggested by the researchers to depress pyrite, including pH adjustment, pulp chemistry control, and reagent selection.

This study investigated the depressant effect of sodium dithionite on pyrite in the case of gold ore flotation. The effect of sodium dithionite was evaluated comparatively based on gold, chalcopyrite, and pyrite recoveries and grades at pH 8 and 10.5, respectively. The aim of this study was to achieve efficient pyrite depression at a relatively lower pH level to avoid excessive use of lime and its possible depression effect on gold and chalcopyrite.

## 2. Literature Review

In certain cases, the natural hydrophobicity of gold can also be used to achieve differential flotation of gold from pyrite. Oluklulu (2020) proposed that pyrite-selective gold flotation can be achieved by collectorless flotation to a certain extent. Yet, the use of collectors is necessary in order to obtain higher gold recoveries for many ores. Xanthates, dithiophosphates, monothiophosphates, and thionocarbamates are the most common collectors used in gold flotation and are mainly used for flotation of sulfide minerals (Allan and Woodcock, 2001; Bulatovic, 2010; Dunne, 2016). Thus, applications of these collectors make differential flotation of gold more challenging (Monte, Lins, and Oliveira, 1997). According to Nagaraj and Brinen (2001), di-p-cresyl monothiophosphate provided pyrite selective flotation in high Ag content gold ores, while Liu, Zhong, and Dai (2006) stated that they obtained selectivity by using ethoxycarbonyl thioure in porphyry copper ores.

Selective gold floatation can also be achieved by depressing the pyrite. Pyrite depression usually involves strategies such as using depressants, oxidizing agents, or the application of a higher pH (Agorhom et al., 2015). These chemicals generally depress the pyrite by

inhibiting the surface adsorption of the collectors (Dunne, 2016).

The use of pH modifiers such as  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , NaOH, and lime is the most common application of pyrite depression in flotation. Pyrite depression at higher pH is proposed to be possible by different mechanisms, such as surface oxidation, inhibition of xanthate adsorption, and precipitation of  $\text{Ca}^{+2}$  ions on mineral surfaces (Mu, Peng, and Lauten, 2016). Nonetheless, Fuerstenau, Jameson, and Yoon (2007) showed that higher pH levels ( $\text{pH} > 10$ ) are required to successfully depress the pyrite, especially in higher collector concentrations. However, a higher pH could also cause a decrease in the flotation performance of valuable metals such as gold and copper (Qiao, Ye, and Zuo, 2021). As a result, a higher pH is considered ideal for depressing pyrite, while a lower pH is favorable for auriferous pyrite ores (Chandra and Gerson, 2009).

As an alternative, oxidizing and reducing agents such as hydrogen peroxide, sodium sulfide and sulfur oxide species can be used to depress pyrite (Chander and Khan, 2000; Grano, Johnson, and Ralston, 1997; Kydros, Angelidis, and Matis, 1993; Shen, Fornasiero, and Ralston, 2001). The use of these chemicals usually involves the formation of hydrophilic sulfide species on pyrite surfaces with the aeration of the pulp (Eh reduction) in a relatively higher pH ( $\text{pH} > 10$ ) range (Agorhom, Skinner, and Zanin, 2014; Mu et al., 2016). In a similar manner, Monte et al. (1997) used hydrogen peroxide for differential flotation of gold from pyrite. According to that study, hydrogen peroxide cleaned the gold surface while inhibiting collector adsorption to pyrite surfaces due to the oxidation.

Sodium dithionite (SD) or  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  is also a reducing agent that is used to control the pulp Eh in flotation applications (Bruckard, Kyriakidis, and Woodcock, 2007; Hayes, Price, Ralston, and Smith, 1987; Hintikka and Leppinen, 1995; Smith, Senior, Bruckard, and Davey, 2011). In general, the effects of SD were discussed mainly on the basis of pulp potential, and there are limited studies on the effects of sodium dithionite on sulfur flotation. Kydros et al. (1993) investigated the effects of SD on bulk flotation of an auriferous pyrite ore containing arsenopyrite in an acidic medium. It's reported that the use of SD resulted in a slight activation of pyrite at pH 4. Sui, Finch, Nasset, Kim, and Lajoie (2000) investigated the effects of dithionite ions on galena and sphalerite flotation. The authors stated that the use of SD suppresses galena oxidation and Pb activation of sphalerite surfaces, leading to selective flotation of galena from sphalerite. However, it was also reported that by using SD with xanthate, adsorption to galena surfaces is also inhibited to a certain extent. In a study by Qiao et al. (2021), the effects of sodium dithionite on pyrite and sphalerite minerals were investigated. It was concluded that  $\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$

ions originating from SD coated the pyrite surface, rendering it hydrophilic. Mhonde, Johansson, Corin, and Schreithofer (2021) studied the effects of dithionite ions on galena and chalcopyrite flotation using different types of xanthate collectors. It was determined that in the presence of dithionite ions, collector adsorption is decreased on mineral surfaces due to the decomposition of xanthates. It was also reported that flotation performance decreased in mild alkaline conditions due to the accumulation of sulfide ions on galena surfaces and the oxidation of chalcopyrite.

### 3. Material and Method

#### 3.1 Material

The ore sample utilized in this study was from the Eastern Black Sea region of Turkey. It was formerly dry ground to a  $p_{80}$  size of 100  $\mu\text{m}$  by a pilot-scale Loesche VRM and brought to the Eskisehir Osmangazi University Mineral Processing Laboratory. The particle size distribution of the sample is shown in Figure 1. The ore sample was then split into 1 kg batches and kept in the freezer to avoid oxidation.

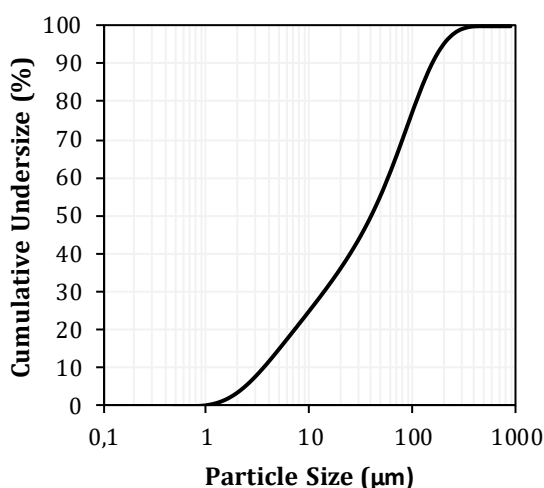


Figure 1. Particle Size Distribution of the Sample

Head assays and flotation test products was carried out using ICP-ES/ICP-MS and fire assay for gold by Bureau Veritas Commodities Canada Ltd. The head assays of the sample are represented in Table 1. Au, Cpy, Py, and S contents of the ore were 1.4 g/t, 0.2%, 5.2%, and 1.4%, respectively. Later, the Cpy and Py content was derived based on the S balance, since Cpy and Py were the main sources of S, as determined by mineralogical analyses.

Table 1. Head Assays of the Sample

Au (g/t)	Cu (%)	Fe (%)	S (%)	Cpy* (%)	Py* (%)
1.40	0.20	5.20	1.40	0.68	2.30

\* Determined by balance of S

Mineralogical analyses were carried out on polished thin-sections of the ore using optical and scanning electron microscopy (Figure 2). According to these analyses, the ore can be defined as a low-grade sulfide gold ore. Sulfide mineralization consists mainly of pyrite (Py) and chalcopyrite (Cpy). In the ore, Cpy, the main Cu-bearing mineral, is present as free grains as well as at the boundaries of Py and non-opaque gang minerals. Similar to chalcopyrite, gold mainly occurs as free grains, while some are associated with pyrite and chalcopyrite. Gold grains are mostly in the 30  $\mu\text{m}$  and finer size ranges. Gang mineralization is mainly dominated by quartz. Mica is also present, with moderate amounts of feldspar, carbonates, clay, and magnesium silicate minerals as well.

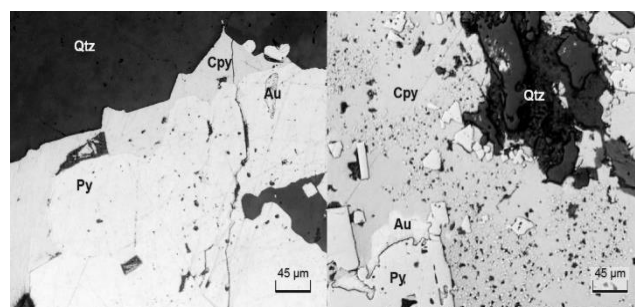


Figure 2. Polished Thin-section Images of the Ore

#### 3.2. Method

Bench scale flotation tests were performed in a 2.5-l flotation cell using a Denver D12 flotation machine. The flotation pulp was set at 35% solids-by-weight by using tap water, and it was stirred at 1300 rpm. The air flow rate was maintained at 7 l/min by using a flow meter. The pH and the pulp potentials (Ag/AgCl) were measured throughout the flotation conditioning by using a Hach HQ40D portable meter equipped with a pH and platinum ORP electrode.

The conditioning of the pulp was carried out over 3 min. periods for a total of 9 min, including pH stabilization, pH adjustment, and the addition and conditioning of the collectors. Sodium dithionite ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) from Merck was used in the flotation experiments. The effects of SD were studied at two pH levels, 8 and 10.5. In order to obtain the determined pH levels, lime was used, and SD was added to the pulp in a 1000 g/t dosage immediately after lime addition, if it was used. Potassium ethyl xanthate (PEX) and Cytec A3894 were utilized together as collectors due to their synergistic effects, as mentioned by the manufacturer (Cytec Industries, 2010). Finally, at the 10th minute, AF70 was added as a frother, and froth was scrapped following 1 min. of aeration.

Froth collection was carried out in 30 seconds intervals for a total of 7 minutes. After the flotation products were dried and weighed, they were shipped for chemical

analysis. The flotation test results were evaluated based on Au, Cu, and Py recoveries and grades.

**4. Results and Discussion**

Throughout the flotation, the change in Eh was monitored, and the results are shown in Figure 3 for the studied conditions. The initial pH of the ore was around 6.2 with a corresponding Eh of approximately 250 mV, which stabilized at 6.5 after 3 minutes of conditioning

with an Eh of 210 mV. The pH increase resulted in a decrease in Eh, as expected. After the pH adjustment, Eh values were measured as 125 mV and 25 m5 at pH 8 and pH 10.5, respectively. SD utilization decreased the Eh values further around 50–70 mV in both pH 8 and pH 10.5, namely 75 mV and -45 mV, respectively. The reducing effect of SD could be attributed to the formation of dithionite (S<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>) ions provided by the oxidation of SD (Selwyn and Tse, 2014).

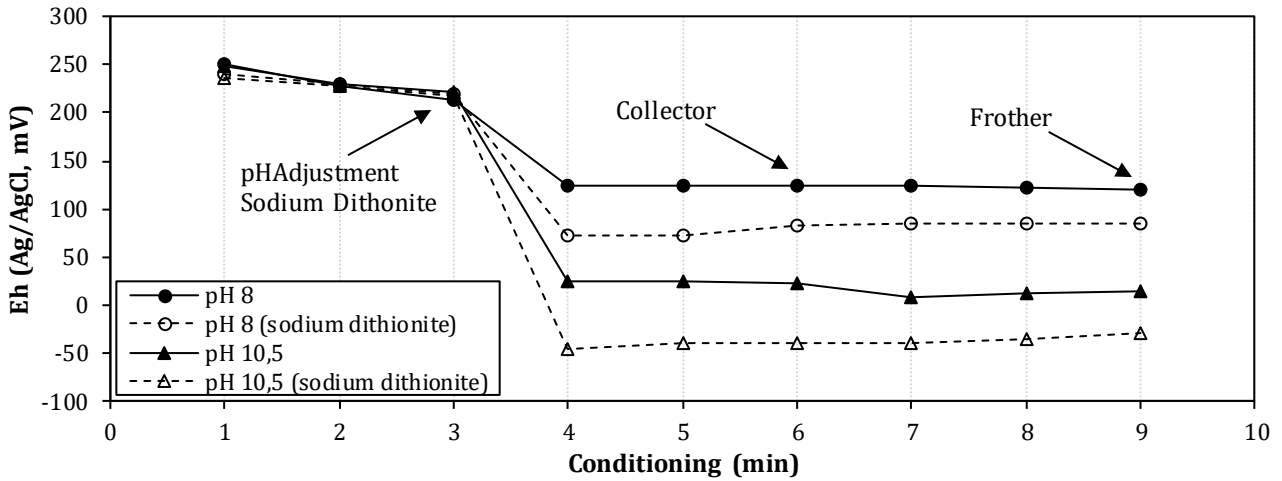


Figure 3. Change of Eh Throughout the Conditioning for pH 8 and pH 10.5, with and without SD (Oluklulu, 2020)

The mass pulls of the flotation concentrates corresponding to the test conditions are shown in Table 2. Mass pulls of around 11% were obtained at pH 8 in both cases with and without SD, indicating the effect of SD on mass pulls was insignificant. Increasing the pH from 8 to 10.5 resulted in a nearly twofold increase in mass pull from 11.9% to 20.7. The use of the SD increased the mass pull of the concentrate even further to 25.1%.

Table 2. Mass Pull of the Flotation Concentrates

Test Condition	Mass Pull (%)
pH 8	11.93
pH 8 SD	11.20
pH 10.5	20.65
pH 10.5 SD	25.14

The effects of SD on Au grade and recoveries for pH 8 and pH 10.5 are shown in Figure 4. In the case of pH 8, without SD, a concentrate having 9.1 g/t Au with a recovery of 77.1% was obtained. SD addition resulted in a 5% loss in recovery (72.3%) while having a similar Au grade (9.3 g/t). Although slightly higher Au recoveries were obtained at pH 10.5 compared to pH 8, Au grades decreased noticeably. At pH 10.5, a concentrate having 5.8 g/t Au with a 79.4% recovery was obtained without

SD. With SD, the highest Au recovery of 81.5% was obtained with a grade of 4.6 g/t.

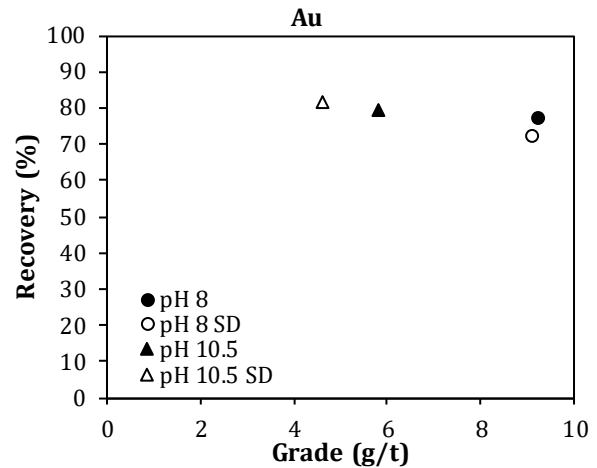


Figure 4. The Effects of SD on Au Recoveries and Grades at pH 8 and pH 10.5

The effects of SD on Cpy grade and recoveries for pH 8 and pH 10.5 are given in Figure 5. In the case of pH 8, a concentrate having 3.4% Cpy with a recovery of 63.6% was obtained. SD addition at pH 8 resulted in a slight decrease in both recovery (58.7%) and grade (3.0%). The pH increase has a limited effect on Cpy recovery while decreasing the grade significantly. A concentrate

having 1.6% Cpy was obtained with a recovery of 62.6% at pH 10.5 without SD, while with SD a concentrate having 1.5% Cpy with a 65.7% recovery was obtained.

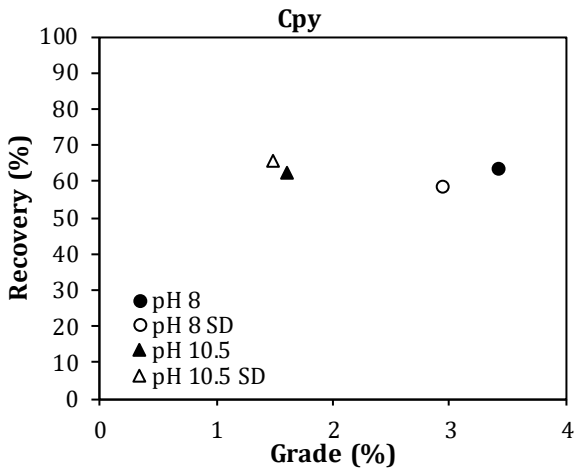


Figure 5. The Effects of SD on Cpy Recoveries and Grades at pH 8 and pH 10.5

The effects of SD on Py grade and recoveries at pH 8 and pH 10.5 are shown in Figure 6. In the case of pH 8, a concentrate having 15.3% Py with a recovery of 79.5% was obtained. Utilization of SD at pH 8 resulted in a significant decrease in both Py recovery and grade. A concentrate having 10.7% Py and 54.7% recovery was obtained. The pH increase from 8 to 10.5 resulted in a slight increase in the Py recovery while decreasing the grade remarkably. A concentrate having 8.4% Py was obtained with a recovery of 81.4% at pH 10.5 without SD. The utilization of SD did not alter the Py grade and recovery. A concentrate having 7.7% Py with a recovery of 82.8% was obtained with SD.

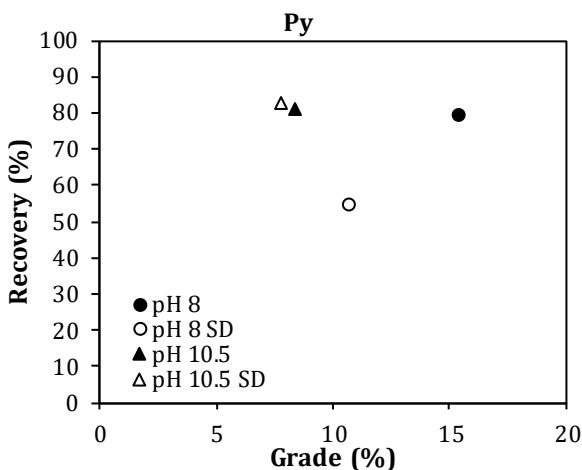


Figure 6. The Effects of SD on Py Recoveries and Grades at pH 8 and pH 10.5

A significant decrease observed in Py recovery and grade at pH 8 compared to pH 10.5 could be attributed

to the depression of Py by the reduction of iron oxidation species, elemental sulphur, and the cathodic decomposition of Py (Chemilewski, Birlingmair, and Pollard, 1991). The other possible completing mechanism could be the reduced collector affinity towards Py surfaces due the lowered Eh (Prestidge, Ralston, and Smart, 1993).

As flotation results revealed, the utilization of SD as a Py depressant assisted in the achievement of Py depression at a pH of 8 without significantly altering the Au and Cpy recoveries and grades. In contrast to the traditional method of increasing pH through the use of excessive amounts of lime, the utilization of SD provided additional benefits, such as decreasing lime consumption and inhibiting the potential detrimental impacts of lime on Au flotation. The slight decrease observed in Au and Cpy recoveries could be attributed to the Au and Cpy associations with Py, as confirmed by the mineralogical analysis. The depressant effect of SD at pH 10.5 was insignificant which could be attributed to the higher mass pulls obtained and SD speciation products at this particular pH level.

### 6. Conclusions

In general, the utilization of the SD resulted in reduced Eh levels at the studied pH levels. Increasing the flotation pH from 8 to 10.5 resulted in higher mass pulls without significantly affecting Au, Cpy, and Py recoveries while decreasing the grades, indicating a loss in selectivity. Furthermore, utilization of SD resulted in effective Py depression at pH 8 without significantly affecting Au and Cpy recoveries and grades.

Consequently, it is considered that the selective flotation of Au and Cpy from Py can be achieved at a lower pH, accompanied by a slightly reduced Eh level, by the utilization of SD. In addition, the selective flotation accomplished at a lower pH was advantageous in terms of lower lime consumption and inhibition of the potential detrimental effects of excessive use of lime in Au flotation.

It's also important to keep in mind that, the ore samples used in this study were dry ground, which could significantly affect the pulp chemistry. Therefore, the effects of the SD should be investigated concurrently for different grinding environments as well as different SD dosages and pH levels, which is the subject of ongoing research.

### Contribution of the Researchers

In this manuscript; Semih Oluklulu, contributed to the research, analysis of the results, discussion, and writing the manuscript; Volkan Bozkurt contributed to the research, discussion, and review; and Yaşar Uçbaşı contributed to the supervision and review.

**Conflict of Interest**

No conflict of interest has been declared by the authors.

**References**

- Agorhom, E. A., Skinner, W., & Zanin, M. (2014). Diethylenetriamine depression of Cu-activated pyrite hydrophobised by xanthate. *Minerals Engineering*, 57, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.12.010>
- Agorhom, E. A., Skinner, W., & Zanin, M. (2015). Post-regrind selective depression of pyrite in pyritic copper-gold flotation using aeration and diethylenetriamine. *Minerals Engineering*, 72, 36-46. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.11.019>
- Aksoy, B., & Yazar, B. (1989). *Natural hydrophobicity of native gold flakes and their flotation under different conditions*. Paper presented at the Proceedings of the International Symposium on Processing of Complex Ores, Halifax.
- Allan, G. C., & Woodcock, J. T. (2001). A review of the flotation of native gold and electrum. *Minerals Engineering*, 14(9), 931-962. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(01\)00103-0](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(01)00103-0)
- Bruckard, W. J., Kyriakidis, I., & Woodcock, J. T. (2007). The flotation of metallic arsenic as a function of pH and pulp potential — A single mineral study. *International Journal of Mineral Processing*, 84(1), 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2007.05.001>
- Bulatovic, S. M. (1997). Flotation behaviour of gold during processing of porphyry copper-gold ores and refractory gold-bearing sulphides. *Minerals Engineering*, 10(9), 895-908. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(97\)00072-1](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(97)00072-1)
- Bulatovic, S. M. (2010). *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice: Volume 2: Flotation of Gold, PGM and Oxide Minerals* (Vol. 2): Elsevier.
- Chander, S., & Khan, A. (2000). Effect of sulfur dioxide on flotation of chalcopyrite. *International Journal of Mineral Processing*, 58(1-4), 45-55. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(99\)00038-1](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(99)00038-1)
- Chandra, A. P., & Gerson, A. R. (2009). A review of the fundamental studies of the copper activation mechanisms for selective flotation of the sulfide minerals, sphalerite and pyrite. *Adv Colloid Interface Sci*, 145(1-2), 97-110. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.09.001>
- Chemilewski, T., Birlingmair, D. H., & Pollard, J. L. (1991). The Influence Of Sodium Dithionite On Flotation Of Pyrite And Coal With Diesel Fuel. *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*, 24, 115-125.
- Cytec Industries, I. (2010). *Mining Chemicals Handbook*. West Patterson, N.J.: Cytec Industries Inc.
- Dunne, R. (2016). Flotation of gold and gold-bearing ores. In M. D. Adams (Ed.), *Gold Ore Processing (Second Edition)* (pp. 315-338): Elsevier.
- Forrest, K., Yan, D., & Dunne, R. (2001). Optimisation of gold recovery by selective gold flotation for copper-gold-pyrite ores. *Minerals Engineering*, 14(2), 227-241. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(00\)00178-3](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(00)00178-3)
- Fuerstenau, M. C., Jameson, G. J., & Yoon, R. H. (2007). *Froth Flotation: A Century of Innovation*: Society for Mining Metallurgy and Exploration.
- Grano, S. R., Johnson, N. W., & Ralston, J. (1997). Control of the solution interaction of metabisulphite and ethyl xanthate in the flotation of the Hilton ore of Mount Isa Mines Limited, Australia. *Minerals Engineering*, 10(1), 17-39. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(96\)00129-X](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(96)00129-X)
- Hayes, R. A., Price, D. M., Ralston, J., & Smith, R. W. (1987). Collectorless Flotation of Sulphide Minerals. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 2(3), 203-234. 10.1080/08827508708952606
- Hintikka, V. V., & Leppinen, J. O. (1995). Potential control in the flotation of sulphide minerals and precious metals. *Minerals Engineering*, 8(10), 1151-1158. [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(95\)00080-A](https://doi.org/10.1016/0892-6875(95)00080-A)
- Klimpel, R. R. (1997). *An Approach to the Flotation of Complex Gold Ores Containing Some Free Gold and/or Some Gold Associated with Easily Floatable Sulphide Minerals*. Paper presented at the World Gold.
- Klimpel, R. R. (1999). Industrial experiences in the evaluation of various flotation reagent schemes for the recovery of gold. *Minerals & metallurgical processing*, 16(1), 1-11. <https://doi.org/10.1007/BF03402850>
- Kydros, K. A., Angelidis, T. N., & Matis, K. A. (1993). Selective Flotation of an Auriferous Bulk Pyrite - Arsenopyrite Concentrate in Presence of Sodium Sulphoxy Salts. *Minerals Engineering*, 6(12), 1257-1264. [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(93\)90103-T](https://doi.org/10.1016/0892-6875(93)90103-T)
- Liu, G. Y., Zhong, H., & Dai, T. G. (2006). The separation of Cu/Fe sulfide minerals at slightly alkaline conditions by using ethoxycarbonyl thionocarbamates as collectors: Theory and practice. *Minerals Engineering*, 19(13), 1380-1384. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.12.007>
- Mhonde, N., Johansson, L.-S., Corin, K., & Schreithofer, N. (2021). The effect of sodium isobutyl xanthate on galena and chalcopyrite flotation in the presence of



- dithionite ions. *Minerals Engineering*, 169, 106985. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.106985>
- Monte, M. B. M., Lins, F. F., & Oliveira, J. F. (1997). Selective flotation of gold from pyrite under oxidizing conditions. *International Journal of Mineral Processing*, 51(1-4), 255-267. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(97\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(97)00018-5)
- Mu, Y. F., Peng, Y. J., & Lauten, R. A. (2016). The depression of pyrite in selective flotation by different reagent systems - A Literature review. *Minerals Engineering*, 96-97, 143-156. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.06.018>
- Nagaraj, D. R., & Brinen, J. S. (2001). SIMS study of adsorption of collectors on pyrite. *International Journal of Mineral Processing*, 63(1), 45-57. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(01\)00043-6](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(01)00043-6)
- O'Connor, C. T., & Dunne, R. C. (1994). The flotation of gold bearing ores — A review. *Minerals Engineering*, 7(7), 839-849. [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(94\)90128-7](https://doi.org/10.1016/0892-6875(94)90128-7)
- Oluklulu, S. (2020). *İşlem Parametrelerinin Altın Flotasyonu Üzerine Etkilerinin İncelenmesi*. (PhD Dissertation), Graduate School of Natural and Applied Sciences, Eskisehir Osmangazi Üniversitesi, Eskisehir.
- Oluklulu, S., Gökçen, H., Bozkurt, V., & Uçbaş, Y. (2019). *Collectorless Flotation Approach to a Low Grade Gold Ore*. Antalya, Turkey: TMMOB Maden Mühendisleri Odası.
- Prestidge, C. A., Ralston, J., & Smart, R. S. C. (1993). The role of cyanide in the interaction of ethyl xanthate with galena. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 81, 103-119. [https://doi.org/10.1016/0927-7757\(93\)80238-A](https://doi.org/10.1016/0927-7757(93)80238-A)
- Qiao, J., Ye, G., & Zuo, Q. (2021). A DFT-based method to determine the hydrophobicity change mechanism on sphalerite and pyrite surfaces caused by sodium dithionite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 628, 127339. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127339>
- Selwyn, L., & Tse, S. (2014). The chemistry of sodium dithionite and its use in conservation. *Studies in Conservation*, 53(sup2), 61-73. <https://doi.org/10.1179/sic.2008.53.Supplement-2.61>
- Shen, W. Z., Fornasiero, D., & Ralston, J. (2001). Flotation of sphalerite and pyrite in the presence of sodium sulfite. *International Journal of Mineral Processing*, 63(1), 17-28. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(00\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(00)00067-3)
- Small, G., Michelmore, A., & Grano, S. (2003). Size dependent gold department in the products of copper flotation and methods to increase gold recovery. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 103(9), 573-579.
- Smith, L. K., Senior, G. D., Bruckard, W. J., & Davey, K. J. (2011). The flotation of millerite — A single mineral study. *International Journal of Mineral Processing*, 99(1), 27-31. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2011.02.004>
- Sui, C., Finch, J. A., Nasset, J. E., Kim, J., & Lajoie, S. (2000). Characterisation of the surfaces of galena and sphalerite in the presence of dithionite. In P. Massacci (Ed.), *Developments in Mineral Processing* (Vol. 13, pp. C8b-15-C18b-22): Elsevier.
- Teague, A. J., Van Deventer, J. S. J., & Swaminathan, C. (1999). A conceptual model for gold flotation. *Minerals Engineering*, 12(9), 1001-1019. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(99\)00087-4](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(99)00087-4)

## KAMERA HATA ENJEKSİYON ARACI İLE KAMERA TABANLI ROBOTİK DENETLEME SİSTEMİNİN DOĞRULANMASI VE ONAYLANMASI

Alim Kerem ERDOĞMUŞ<sup>1\*</sup>, Uğur YAYAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 1 Araştırma ve Geliştirme Departmanı, Inovasyon Muhendislik Ltd.Şti., Eskişehir, Türkiye,  
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-5111-5965>

<sup>2</sup> Yazılım Mühendisliği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye,  
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-1394-5209>

Anahtar Kelimeler	Öz
Robotik Doğrulama&Onaylama Hata Enjeksiyonu Robot İşletim Sistemi Kamera Tabanlı Alg	<i>Günümüzde, gelişen görüntü işleme teknikleri ile birlikte kamera tabanlı robotik inceleme sistemleri oldukça popülerlik kazanmıştır. Bu tür sistemler gıdadan, askeriye birçok sektörde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler geliştirilirken gerekli olan doğrulama ve onaylama süreçleri oldukça uzun ve maliyetli olmaktadır. Bu çalışma, kamera tabanlı endüstriyel robotik sistemler üzerinde doğrulama ve onaylama faaliyetlerini gerçekleştirmek ve iyileştirmek amacıyla geliştirilmiştir. RGB ve TOF kameralara farklı türlerde (Open, Close, Dilation, Erosion, Gradient, Motionblur, Tuz&amp;Biber, Gaussian ve Poisson) hata enjeksiyon yöntemleri kullanılmasını mümkün Kamera Hata Enjeksiyon Aracı (CamFITool) ile gerçekleştirilmiş testler ve sonuçlar açıklanmıştır. Yapılan çalışma, VALU3S projesi kapsamında, OTOKAR'ın ROKOS robotik sistemine, CamFITool ile gerçek ortamdan alınmış kamera görüntülerinden oluşan kitaplıklara, çeşitli konfigürasyonlarda hatalar enjekte edilip, bu enjeksiyonun sisteme etkilerinin incelenmesine odaklanmıştır. Bu kapsamda 49 farklı test konfigürasyonunda hata enjeksiyonu gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, kamera tabanlı endüstriyel robotik sistemlerin daha güvenli ve stabil çalışmalarının sağlanması için, bu sistemlerin hataya dayanıklı olup olmadıklarını test eden açık kaynaklı bir hata enjeksiyon aracı olan CamFITool önerilmiştir.</i>

## VERIFICATION AND VALIDATION OF CAMERA-BASED ROBOTIC INSPECTION SYSTEM WITH CAMERA FAULT INJECTION TOOL

Keywords	Abstract
Robotics Verification&Validation Fault Injection Robot Operating System Camera-based Perception	<i>Nowadays, camera-based robotic inspection systems have gained popularity with the developing image processing techniques. Such systems are used extensively in many sectors from food to military. The verification and validation processes required during the development of these systems are quite long and costly. This study was developed to perform and improve verification and validation activities on camera-based industrial robotic systems. The tests and results are explained with the Camera Fault Injection Tool (CamFITool), which enables the use of different types of fault injection methods (Open, Close, Dilation, Erosion, Gradient, Motionblur, Salt &amp; Pepper, Gaussian and Poisson) to RGB and TOF cameras. Within the scope of the VALU3S project, the study focussed on OTOKAR's ROKOS robotic system by injecting faults in various configurations into libraries consisting of camera images taken from the real environment with CamFITool and analysing the effects of this injection on the system. In this context, fault injection was performed in 49 different test configurations. As a result, CamFITool, an open-source fault injection tool that tests the fault tolerance of camera-based industrial robotic systems, is proposed to ensure safer and more stable operation of these systems.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 23.08.2023

Submission Date : 23.08.2023

Kabul Tarihi : 23.08.2023

Accepted Date : 23.08.2023

\* Sorumlu yazar: [kerem.erdogmus@inovasyonmuhendislik.com](mailto:kerem.erdogmus@inovasyonmuhendislik.com)

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1348531>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Giriş

Sanayi alanında, endüstriyel robotlar tehlikeli ve tekrarlayan görevler için sıklıkla tercih edilmektedir. Bu robotlar, bir operatörün sürekli kontrolü olmaksızın bağımsız bir şekilde çalışabilirler. Endüstriyel robotların bu yaygın kullanımı, özellikle üretim verimliliğini artıracak iyileştirmeler ve geliştirmeler açısından endüstriyel robotik alanında önemli bir konu haline gelmiştir. Bu iyileştirmeler arasında, robotların kamera sistemlerinin düzgün ve etkin bir şekilde çalışmasını sağlamak da yer almaktadır.

Robotik kamera sistemleri, robot-insan etkileşimi, en kısa yol hesaplama, ortam ve ürün kontrolü gibi hususlarda kullanılan en önemli bileşenlerdir. Bu bileşenlerde ortaya çıkabilecek hatalar da aynı derecede kritik sonuçlar doğurabilmektedir. Robotik sistemlerde yazılımın önemi çok daha kritik hale geldiğinden ve sistemlerde oluşabilecek anormalliklerin çoğunlukla yazılım tarafından fark edilmesi mümkün olduğundan, sistemin hata enjeksiyonu ile test edilmesi büyük önem arz etmektedir.

Gerçekleştirilen testler ve sistemlere uygulanan hata enjeksiyonları ile sistemlerin hata toleransları, çalışma verimlilikleri ve çalışma süreleri gibi bazı unsurlar üzerinde doğrulama yapılabilmektedir. Endüstriyel robotik sistemlerin doğrulanması, oluşabilecek hatalara karşı sistemin vereceği tepkilerin ölçülmesi ve bu hatalara karşı önlem alınması açısından önem arz eder (Fisher ve diğ., 2021). Buna istinaden yapılan çalışmada, Kamera Hata Enjeksiyon Aracı (CamFITool) (Yayan ve Erdogmus, 2022; CamFITool ROS Wiki, 2023) kullanılarak, bir endüstriyel robot sistemi olan ROKOS'un (Yayan ve Erdogmus, 2021) robot kameralarına hata enjeksiyonları gerçekleştirilip (Erdogmus ve Karaca, 2021), sistemin bu hata enjeksiyonlarına verdiği tepkiler analiz edilmiştir. Böylece endüstriyel robotik sensör verilerinin manipülasyonunun yaratacağı etkiler araştırılmıştır.

CamFITool kullanılarak örnek bir endüstriyel kameralı robotik inceleme sisteminin (ROKOS) (Yayan ve Erdogmus, 2021) yaptığı otobüs şasesi incelemesinde topladığı şase resimlerine, dokuz farklı görüntü hatası, farklı oranlar ve miktarlarda enjekte edilerek hatalı resim kütüphaneleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kütüphaneler, normal ortamdan alınan resimlerin analiz edildiği inceleme yazılımına koyularak, analiz sisteminin otobüs şase parçalarını normal resim kütüphanesindeki incelemesinde görebildiği gibi görüp görmediğine bakılmıştır. Çalışmanın sonunda normal resim kütüphanesi ile hatalı resim kütüphanelerinin incelenmesi sonucu oluşan parça tespit farkları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda hata enjeksiyonlarının tespit sistemini yanılttığı, bazı hata tiplerinde fazla parça tespit edilirken bazılarında eksik

parça miktarının fazla çıktığı, bazı hata türlerinin ise incelemeye etkisinin olmadığı görülmüştür.

Bu çalışma ile ilgili temel literatür bilgisi Bölüm 2'de, çalışmanın gerçekleştirildiği CamFITool yazılımı ve yapılan testler Bölüm 3'te, yapılan testlerin sonuçları ile ilgili analizler Bölüm 4'te açıklanmıştır.

## 2. Literatür

Hata enjeksiyonu, yazılımların ve sistemlerin güvenilirliğini değerlendirmek için önemli bir metodolojidir. Yazılıma aşına olan araştırmacılar, mühendisler vb. İlgili sistemlerde yazılım hatalarına neden olabilecek enjeksiyonlara hem donanım hem de yazılım olarak uygulanabilecek birçok yeni yöntem geliştirmektedir. Geliştirilmekte olan bu donanım ve yazılım yöntemleri arasında görülen durumlar şu Figürdedir: Yazılım geliştiricilerin ve araştırmacıların erişebildiği hata enjeksiyon siteleri, enjeksiyon maliyeti, sistemde vs. oluşan arızanın neden olduğu bozulma düzeyi gibi faktörlerdir. Donanıma hata enjeksiyonu ile devreler ve yazmaçlar gibi yazılımla düzeltilmeyen çip pinlerinde ve dahili bileşenlerde hatalar oluşturulabilir. Öte yandan, yazılıma hata enjeksiyonunda, yazılımın genel durumu düzeyinde doğrudan bir değişiklik üretmek mümkündür. Bu durumlar göz önüne alındığında, düşük seviyeli arıza tespit ve maskeleye mekanizmalarını değerlendirmek için donanım yöntemlerini ve daha yüksek seviyeli mekanizmaları test etmek için yazılım yöntemlerini kullanmak mümkündür (Everingham, Van Gool, Williams, Winn ve Zisserman, 2010; Kendall, Grimes ve Cipolla, 2015; Park ve Mu Lee, 2017; Sciforce, 2019; OpenCV, 2023; Quigley ve diğ., 2009).

Endüstriyel robotik alanında robot kameralarına hata enjeksiyonu yöntemiyle doğrulama sistemleri henüz yeni gelişmekte olan bir konudur. AVFI sistemi endüstriyel alanda olmasa da otonom araç kameralarına hata enjeksiyonu ile doğrulama yapılması üzerinde çalışan bir yazılım örneği olarak gösterilebilir (Jha, Banerjee, Cyriac, Kalbarczyk ve Iyer, 2018). AVFI ekibi, Unreal Engine ve CARLA simülasyonu kullanarak oluşturdukları sanal ortamdaki otonom araç kameralarının kameralarına hata enjeksiyonları gerçekleştirerek doğrulama üzerinde çalışmalar yürütmektedir. Kamera hatalarını genel olarak sensör hataları olarak ele alan ekip, kameraların gerçek hayatta karşılaşılabileceği görüntü, su damlası ya da tıkanıklık (occlusion) gibi sorunları simule ederek enjeksiyon yapmaktadır. CamFITool ise endüstriyel robotik kameralara özelleştirilmiş, ROS destekli hem simülasyon hem de gerçek ortam senaryolarına uygulanabilir bir hata enjeksiyon aracı olmak konusunda örnek teşkil edecek bir çalışmadır.

Camera Fault Injection Tool (CamFITool), bu tür robotik sistem hataları oluşmadan önce önlem alabilmek için robot kameralara gerekli hata enjeksiyonlarını yapan

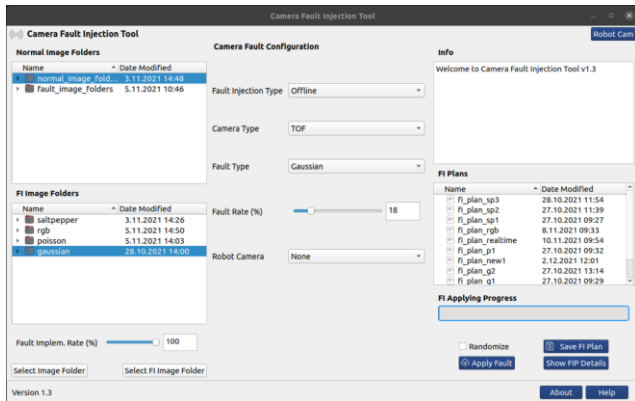
açık kaynaklı bir araçtır. Python tabanlı CamFITool, ROS Noetic sisteminde çalışan bir robotik sistem olan Simulation Based Robot Verification Tool (SRVT) üzerinde test edilmiştir (Erdogmus ve Karaca, 2021; Yayan ve Erdogmus 2021). Bu testler, SRVT'de simüle edilen ROKOS sisteminin robot kameralarında gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, ROS ortamında böyle bir hata yerleştirme test aracının eksikliğini gidermek için açık kaynaklı olmuştur.

### 3. Yöntem

Bu bölümde CamFITool yazılımının teknik detaylarından ve yapılan çalışmanın yöntemlerinden bahsedilmiştir. Yapılan çalışmalarda araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### 3.1. Kamera Hata Enjeksiyon Yazılımı (CamFITool)

Bu çalışma, robotik sistemlerde doğrulama ve onaylama faaliyetlerini gerçekleştirmek için RGB ve TOF kameralara, son teknoloji hata enjeksiyon yöntemlerinin kolaylıkla uygulanabilmesini sağlayan, açık kaynaklı bir yazılım aracı olarak CamFITool'u önermektedir. Bu araç Python3 temelli, arayüzü ise Qt5'te oluşturulmuş bir yazılım aracıdır. Ayrıca robotik paketler üzerinde doğrudan testler yapılabilmesi için ROS Noetic uyumlu versiyonu da mevcuttur (CamFITool ROS Wiki 2023).



Şekil 1. CamFITool Arayüzü

CamFITool arayüzünde, istenen hata enjeksiyon türlerinin ayarlandığı, girdi/çıkış klasörlerinin belirlendiği ve uygulanan testlerin çıktılarının görüntülediği çeşitli menü ve pencereler bulunur. Bu menülerden biri olan "Kamera Hatası Yapılandırma" menüsü (arayüzün merkezinde - Şekil 1'de), uygulanmak istenen hataların konfigüre edildiği kısımdır. Menüdeki bölümlerin açıklamaları aşağıdaki gibidir:

- **Hata Enjeksiyon Yöntemi (Fault Injection Type):** Bu kısımda, kullanıcı hata enjeksiyon türünü seçer. Offline ve Realtime olmak üzere iki seçenek vardır. Offline seçildiğinde son iki

seçenek ekrandan silinir (ROS Camera Topic ve Camera Stream Frequency kısımları).

- **Kamera Türü (Camera Type):** Bu kısımda hata enjeksiyonu yapılacak kamera türü (RGB veya TOF) seçilebilir. Her iki seçenek için de Hata Tipi (Fault Type) kısmında farklı hata tipleri sunulmaktadır.
- **Hata Türü (Fault Type):** Bu kısımda, kullanıcı uygulanacak hata türünü seçer. RGB kamera için Open, Close, Dilation, Erosion, Gradient ve Motion-blur hata türleri, TOF kamera için Tuz&Biber, Gaussian ve Poisson hata türleri mevcuttur.
- **Hata Oranı (Fault Rate):** Hata enjeksiyon oranını kullanıcının belirlediği kısımdır. Oranın etkisi, görüntünün bozulmasıyla doğru orantılıdır.
- **Robot Kamerası (Robot Camera):** Bu kısım, kullanıcının hata uygulanacak kamera akışının türünü seçtiği özelliktir. RGB ve TOF olmak üzere iki farklı kamera türü tanımlanmıştır.
- **ROS Kamera Konusu (ROS Camera Topic):** Kullanıcının hata enjekte etmek için ROS kamera akışının ilgili konusunu seçtiği özelliktir. Sadece Realtime modunda kullanılabilir.
- **Kamera Yayın Frekansı (Camera Stream Frequency):** Bu kısım, ROS kamera yayın frekansının belirlendiği kısımdır. Realtime modunda kullanılabilir.

CamFITool, TOF kameralar için üç, RGB kameralar için altı farklı hata türünde enjeksiyon gerçekleştirebilmektedir. Uygulanabilir hatalar ve bu uygulamanın türleri hakkında bilgiler Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. CamFITool hata tipi listesi

Hata Türü	Kamera Türü	CamFITool Hata Enjeksiyon Yöntemi
Dilation	RGB	Realtime/Offline
Erosion	RGB	Realtime/Offline
Open	RGB	Realtime/Offline
Close	RGB	Realtime/Offline
Gradient	RGB	Realtime/Offline
Motion-blur	RGB/TOF	Realtime/Offline
Gaussian	TOF	Offline*
Poisson	TOF	Offline*
Tuz&Biber	TOF	Offline*

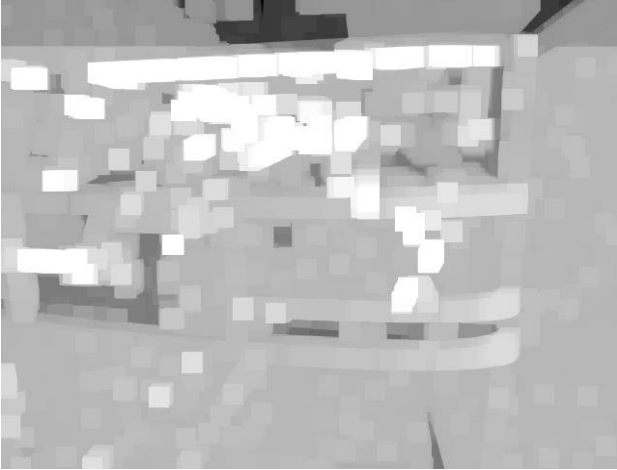
\* Realtime Modu sonraki güncellemelerde eklenecek.

#### 3.2. CamFITool ile Uygulanan Hata Tipleri

CamFITool kullanılarak kamera sistemlerine ya da resim veritabanlarına dokuz farklı hata tipinde enjeksiyon yapılabilmektedir. Bu çalışma için,

bahsedilen her hata türünde enjeksiyon, gerçek endüstriyel kamera tabanlı robotik sistemden (ROKOS) [Bölüm 3.3'te açıklanmıştır] alınmıştır. Bu hatalar aşağıda sıralandığı gibidir:

**Dilation:** Bir görüntünün vurgulanan kısımlarını büyüten/genişleten bir hata türüdür (Jankowski, 2006). CamFITool içinde RGB kamera türü görüntülere Realtime ve Offline modlarında uygulanabilir (Şekil 2).



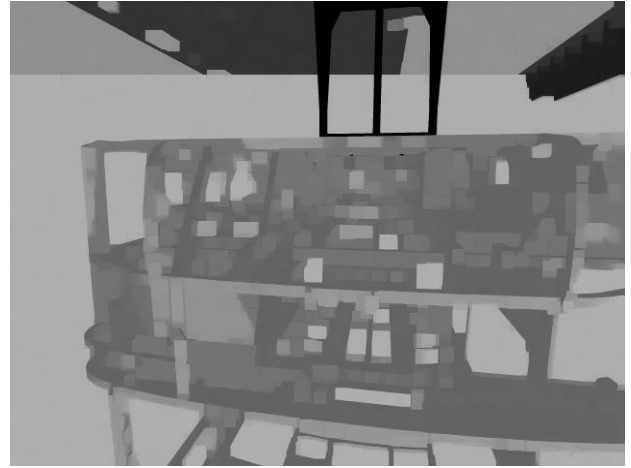
Şekil 2. Dilation Hata Enjeksiyon Örneği

**Erosion:** Bir görüntünün vurgulanan kısımlarını küçülten/daraltan bir hata türüdür (Jankowski 2006). CamFITool içinde RGB kamera türü görüntülere Realtime ve Offline modlarında uygulanabilir (Şekil 3).



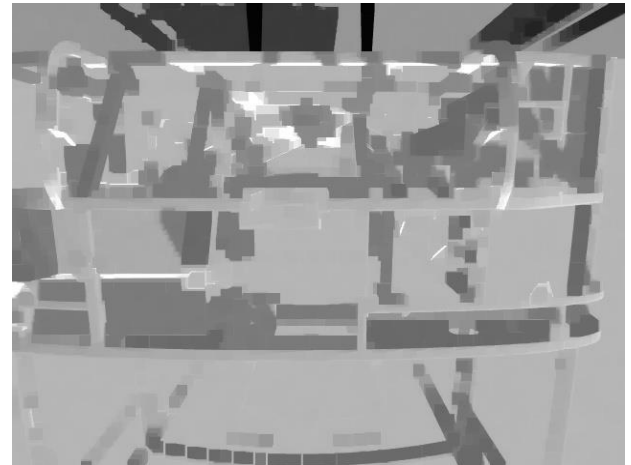
Şekil 3. Erosion Hata Enjeksiyon Örneği

**Open:** Bir görüntünün önce dağlanıp, ardından yayılmasıyla oluşan hata türüdür (Acton ve Mukherjee 2000). CamFITool içinde RGB kamera türü görüntülere Realtime ve Offline modlarında uygulanabilir (Şekil 4).



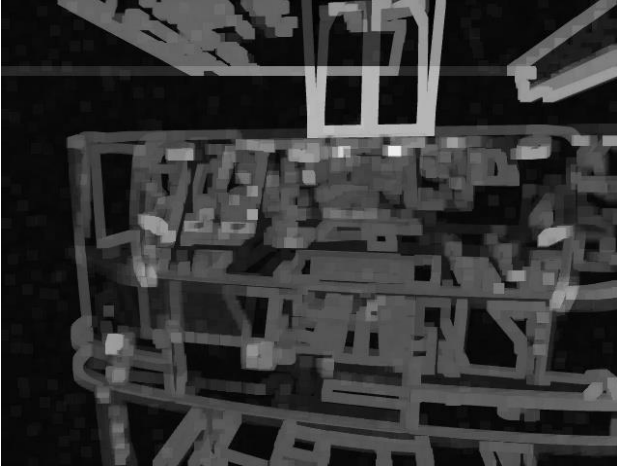
Şekil 4. Open Hata Enjeksiyon Örneği

**Close:** Bir görüntünün önce yayılıp, ardından dağlanması ile oluşan hata türüdür (Open türünün tam tersi) (Acton ve Mukherjee, 2000). CamFITool içinde RGB kamera türü görüntülere Realtime ve Offline modlarında uygulanabilir (Şekil 5).



Şekil 5. Close Hata Enjeksiyon Örneği

**Gradient:** Bir görüntünün lekeli versiyonundan kazanılmış versiyonun çıkarılmasıyla ortaya çıkan hata türüdür (Larnier, Fehrenbach ve Masmoudi, 2012). CamFITool içinde RGB kamera türü görüntülere Realtime ve Offline modlarında uygulanabilir (Şekil 6).



Şekil 6. Gradient Hata Enjeksiyon Örneği

**Motion-blur:** Bir görüntüde bulanıklık sağlanarak oluşturulur (Ji ve Liu, 2008). CamFITool içinde RGB kamera türü görüntülere Realtime ve Offline modlarında uygulanabilir (Şekil 7).



Şekil 7. Motion-blur Hata Enjeksiyon Örneği

**Gaussian:** Gauss gürültüsü, Gauss dağılımı olarak da bilinen, normal dağılıma eşit bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahip istatistiksel gürültüdür. Diğer bir deyişle gürültünün alabileceği değerler Gauss dağılımıdır (Şekil 8) (Barbu, 2013). CamFITool içinde TOF kamera türü görüntülere Offline modunda uygulanabilir.



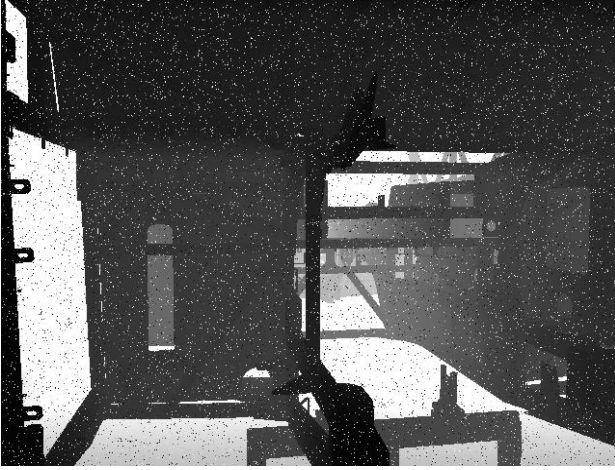
Şekil 8. Gaussian Hata Enjeksiyon Örneği

**Poisson:** Atış gürültüsü veya Poisson gürültüsü, Poisson süreci ile modellenebilen bir gürültü türüdür. Elektronikte, yarıiletken gürültüsü, elektrik yükünün ayrık doğasından kaynaklanmaktadır. Atış gürültüsü ayrıca, atış gürültüsünün ışığın parçacık yapısıyla ilgili olduğu optik cihazlarda foton sayımında da oluşur (Şekil 9) (Blanter ve Büttiker, 2000; Schottky 2018). CamFITool içinde TOF kamera türü görüntülere Offline modunda uygulanabilir.



Şekil 9. Poisson Hata Enjeksiyon Örneği

**Tuz&Biber:** Tuz&Biber gürültüsü, sistemlerde genellikle gözlemlenebilen bir gürültü türüdür. Darbe gürültüsü olarak da bilinir. Bu gürültü, görüntü sinyalindeki keskin ve ani bozulmalardan kaynaklanabilir. Seyrek olarak oluşan beyaz ve siyah pikseller olarak kendini gösterir. (Şekil 10) (Rosin ve Collomosse, 2012). CamFITool içinde TOF kamera türü görüntülere offline olarak uygulanabilir.



Şekil 10. Tuz&amp;Biber Hata Enjeksiyon Örneği

İleride eklenmesi muhtemel hata tipleri:

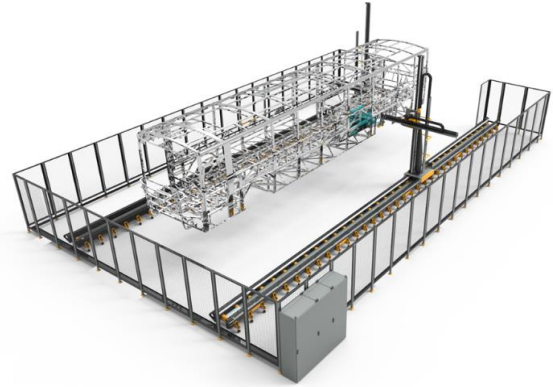
- **Partialloss (RGB/TOF - Realtime/Offline):** Resimlerin bir kısmının yatay veya dikey düzleminden kesilerek parçalı yayın alınmasına neden olan bir hata türüdür.
- **Freeze (RGB/TOF - Realtime):** Bir görüntü akışının donmasıyla kaydedilen her resmin, donma anındaki resim olmasına neden olan hata türüdür.
- **Slow (RGB/TOF - Realtime):** Bir video akışının yavaşlamasıyla, resmin kaydedilmesi gereken noktalarda kaydedilmemesini ve kayıtlarda sapmaların oluşmasına neden olan hata türüdür.
- **Random (RGB/TOF - Realtime):** Bir görüntü akışındaki görüntü piksellerinin rastgele değişmesi ile görüntüde parazit oluşmasına neden olan hata türüdür.

#### 4. Bulgular

Bu bölümde CamFITool'un doğrulama testlerinin yapıldığı test ortamı ve test bulguları açıklanmıştır.

##### 4.1. Realtime Fault Injected Image Dataset from SRVT Simulation Environment

CamFITool hata enjeksiyon testleri, ROKOS robot kameraları tarafından kaydedilen 293 şase görüntüsü üzerinde gerçekleştirilmiştir (Erdogmus ve Karaca, 2021; Yayan ve Erdogmus, 2021) (Şekil 11). Enjeksiyon sonrasında elde edilen hatalı resimler, şasede eksik parça olup olmadığını tespit etmek için geliştirilen OTOKAR'ın Kamera Kalite Kontrol Sistemi yazılımı ile incelenmiş (Şekil 12), test sonuçları bu bölümde analiz edilmiştir.



Şekil 11. Test Ortamı Olan ROKOS Kameralı Robotik Kontrol Sistemi

Kameralı kalite kontrol sistemi, ROKOS'un sistemdeki otobüs şasesinin çeşitli konumlardan fotoğraflanması ve bu fotoğrafların yazılım tarafından incelenerek eksik parça olup olmadığı bilgisinin alınmasını sağlayan bir sistemdir. Derinlik kameralarından (TOF) alınan görüntüler, derinliklerine göre farklı renklerle parçaların analiz edilmesi ile parça sayısı bilgisinin edinilmesini sağlar. Elde edilen sonuçları arayüzde gösterir. Ayrıca arayüz, görüntülenen parçalar ışığında otobüs şasesinin modelini inşa ederek, görsel bir geribildirim de vermektedir.

#### 4.2. Test Sonuçları

Bu testler kapsamında, ROKOS kameralarından alınan normal görüntülere, dokuz farklı hata tipi, farklı oran ve miktarlarda enjekte edilerek hatalı resimler oluşturulmuştur. Daha sonra kamera kalite kontrol yazılımına girdi olarak hata enjekte edilmiş görüntülerden oluşan bu görüntü kitaplıkları verilmiş ve yazılımın normal görüntü kitaplığı incelenerek elde edilen sonuçlarla karşılaştırmalar yapılmıştır. Testlerde uygulanan hata enjeksiyon yöntemleri ve hata uygulama oranları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. CamFITool ile uygulanan hata yöntemleri ve hata oranları

Kamera Türü	Hata Yöntemi	Test Kodu	Uygulanan hata yüzdesi (%)	Kütüphanedeki hatalı resim oranı (%)	Hatalı Resim Sayısı
TOF	Tuz&Biber	SP	5%	10%	29
	Gaussian	G	20%	30%	88
	Poisson	P	40%	100%*	293*
RGB	Open	O	5%	10%	29
	Close	C	20%	30%	88
	Dilation	D	40%	100%*	293*
	Erosion	E			
	Gradient	GR			
	Motionblur	MB			

\*Yalnızca %20 hata oranı tüm resimlere tek seferde uygulanmıştır. Diğer hatalı görüntü miktarları her hata oranında test edilmiştir.

Tablo 2'de görüldüğü gibi, iki farklı kamera türü tarafından desteklenen dokuz farklı kamera hatası, ROKOS kameralar tarafından alınan normal bir görüntü kitaplığına enjekte edilmiştir. ROKOS kameradan çekilen resimler TOF kamera tipi olmasına rağmen RGB kameralara uygulanan hata tiplerinin yazılıma etkisi de incelenmiştir. Her hata için %5, %20 ve %40 hata oranları ile üç farklı uygulama testi belirlenmiştir. Bu hata oranları, görüntü kitaplığının %10 ve %30'una uygulanacak Figürde değiştirilerek uygulanmıştır. Ek olarak tüm görüntü kitaplığına %20 oranında hata enjeksiyonu da uygulanarak, yedi farklı hata enjeksiyon planı test edilmiş oldu. Dolayısıyla bu çalışmada toplam 49 farklı hata enjeksiyon planı uygulanmış ve sonuçları analiz edilmiştir.

Tablo 3'te kalite kontrol tespit yazılımında ROKOS sisteminden elde edilen normal görüntü veri tabanının çıktıları verilmiştir. Hata testleri uygulandıktan sonra elde edilen yeni veriler ile Tablo 3'teki standart durumda elde edilen veriler karşılaştırılarak çıkarımlar yapılmıştır.



Şekil 11. OTOKAR Kamera Kalite Kontrol Sistemi arayüzü.

Tablo 3. ROKOS'un normal görüntü veritabanı kullanılarak elde edilen kalite kontrol sistemi yazılım çıktısı

	Görüntülenen Parça Say.		Görüntülenemeyen Parça Say.		Kıyaslanamayan Parça Say.		Toplam
	%	Miktar	%	Miktar	%	Miktar	
Normal Görüntü Veritabanı	76.31	2381	10.99	343	8.72	272	2996

CamFITool kullanılarak yapılan hata enjeksiyonları sonucunda elde edilen hatalı görüntü kütüphaneleri tek tek kalite kontrol sistem yazılımından geçirilmiştir. Her bir hata enjeksiyon testinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki alt bölümlerde analiz edilmiştir.

#### 4.2.1 Tuz&Biber Hata Enjeksiyon Testleri

Tuz&Biber hatasının uygulandığı görüntü kitaplıklarının kalite kontrol yazılımından

geçirilmesiyle elde edilen sonuçlar Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Tuz&Biber hata enjeksiyon test sonuçları

Test Kodu	Uygulanan hata yüzdesi (%)	Küt. hatalı resim oranı (%)	Görüntülenen Parça Sayısı		Görüntülenemeyen Parça Sayısı	
			%	Miktar	%	Miktar
SP-1	5%	10%	77.82%	2428	9.49%	296
SP-2	20%		77.82%	2428	9.49%	296
SP-3	40%		78.97%	2464	8.33%	260
SP-4	5%	30%	80.77%	2520	6.54%	204
SP-5	20%		81.25%	2535	6.06%	189
SP-6	40%		81.15%	2532	6.15%	192
SP-7	20%	100%	87.08%	2717	0.22%	7

Tuz&Biber hatası enjekte edilen görüntü kitaplıklarında hata oranı arttıkça kalite kontrol sisteminin daha fazla "görünür parça" çıktısı verdiği gözlemlendi. Bu türden bir hata, kalite kontrol sisteminin eksik parça tespitini etkilemiştir. Aynı Figürde hatalı görüntü sayısı arttıkça "görünür parça" sayısı da artmıştır. Tüm görüntülere hatalar uygulandığında, sistem neredeyse tüm parçaların bulunduğunu ve eksik parça olmadığını bildirmiştir.

#### 4.2.2 Gaussian Hata Enjeksiyon Testleri

Gaussian hatasının uygulandığı görüntü kitaplıklarının kalite kontrol yazılımından geçirilmesiyle elde edilen sonuçlar Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Gaussian hata enjeksiyon test sonuçları

Test Kodu	Uygulanan hata yüzdesi (%)	Küt. hatalı resim oranı (%)	Görüntülenen Parça Sayısı		Görüntülenemeyen Parça Sayısı	
			%	Miktar	%	Miktar
G-1	5%	10%	77.95%	2432	9.36%	292
G-2	20%		79.13%	2469	8.17%	255
G-3	40%		78.81%	2459	8.49%	265
G-4	5%	30%	81.67%	2548	5.64%	176
G-5	20%		81.15%	2532	6.15%	192
G-6	40%		81.44%	2541	5.87%	183
G-7	20%	100%	87.28%	2723	0.03%	1

Gaussian hatası enjekte edilen görüntü kitaplıklarında hata oranı arttıkça kalite kontrol sisteminin daha "görünür parçalar" çıkardığı gözlemlenmiştir. Bu türden bir hata, kalite kontrol sisteminin eksik parça tespitini etkilemiştir. Aynı Figürde kusurlu görüntü sayısı arttıkça "görünür parça" sayısı da artmıştır. Tüm görüntülere hatalar uygulandığında, sistem neredeyse



tüm parçaların bulunduğunu ve eksik parça olmadığını bildirmiştir.

#### 4.2.3 Poisson Hata Enjeksiyon Testleri

Poisson hatasının uygulandığı görüntü kitaplıklarının kalite kontrol yazılımından geçirilmesiyle elde edilen sonuçlar Tablo 6'da gösterilmektedir.

Tablo 6. Poisson hata enjeksiyon test sonuçları

Test Kodu	Uygulanan hata yüzdesi (%)	Küt. hatalı resim oranı (%)	Görüntülenen Parça Sayısı		Görüntülenemeyen Parça Sayısı	
			%	Miktar	%	Miktar
P-1	5%	10%	77.92%	2431	9.39%	293
P-2	20%		78.33%	2444	8.97%	280
P-3	40%		78.21%	2440	9.10%	284
P-4	5%	30%	80.54%	2513	6.76%	211
P-5	20%		81.92%	2556	5.38%	168
P-6	40%		82.92%	2587	4.39%	137
P-7	20%	100%	87.31%	2724	0.00%	0

Poisson hata enjeksiyonu testlerinde, Gaussian ve Tuz&Biber enjeksiyonları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

#### 4.2.4 Open Hata Enjeksiyon Testleri

Open hatasının uygulandığı görüntü kitaplıklarının kalite kontrol yazılımından geçirilmesiyle elde edilen sonuçlar Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7. Open hata enjeksiyon test sonuçları

Test Kodu	Uygulanan hata yüzdesi (%)	Küt. hatalı resim oranı (%)	Görüntülenen Parça Sayısı		Görüntülenemeyen Parça Sayısı	
			%	Miktar	%	Miktar
O-1	5%	10%	76.31%	2381	10.99%	343
O-2	20%		76.28%	2380	11.03%	344
O-3	40%		76.15%	2376	11.15%	348
O-4	5%	30%	76.31%	2381	10.99%	343
O-5	20%		76.12%	2375	11.19%	349
O-6	40%		75.67%	2361	11.63%	363
O-7	20%	100%	75.26%	2348	12.05%	376

Open hata türü enjekte edilen görüntü kitaplıklarındaki hata oranındaki artış, çıktıyı çok az etkilemiştir (etki ~%0,3). Aynı Figürde hatalı resimlerin sayısı da bu durumu pek değiştirmemiştir. Kalite kontrol sisteminde incelenen görüntülerde bu hata türünün, sisteme herhangi bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

#### 4.2.5 Close Hata Enjeksiyon Testleri

Close hatasının uygulandığı görüntü kitaplıklarının kalite kontrol yazılımından geçirilmesiyle elde edilen sonuçlar Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8. Close hata enjeksiyon test sonuçları

Test Kodu	Uygulanan hata yüzdesi (%)	Küt. hatalı resim oranı (%)	Görüntülenen Parça Sayısı		Görüntülenemeyen Parça Sayısı	
			%	Miktar	%	Miktar
C-1	5%	10%	76.31%	2381	10.99%	343
C-2	20%		76.35%	2382	10.96%	342
C-3	40%		76.38%	2383	10.93%	341
C-4	5%	30%	76.31%	2381	10.99%	343
C-5	20%		76.22%	2378	11.09%	346
C-6	40%		76.35%	2382	10.96%	342
C-7	20%	100%	76.15%	2376	11.15%	348

Close hata türü enjekte edilen görüntü kitaplıklarındaki hata oranındaki artış, çıktıyı çok düşük oranda etkilemiştir. Aynı Figürde hatalı resimlerin sayısı da bu durumu pek değiştirmemiştir. Dolayısıyla bu hata türünün kalite kontrol sisteminde incelenen görüntülere herhangi bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

#### 4.2.6 Dilation Hata Enjeksiyon Testleri

Dilation hatasının uygulandığı görüntü kitaplıklarının kalite kontrol yazılımından geçirilmesiyle elde edilen sonuçlar Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 9. Dilation hata enjeksiyon test sonuçları

Test Kodu	Uygulanan hata yüzdesi (%)	Küt. hatalı resim oranı (%)	Görüntülenen Parça Sayısı		Görüntülenemeyen Parça Sayısı	
			%	Miktar	%	Miktar
D-1	5%	10%	76.31%	2381	10.99%	343
D-2	20%		77.12%	2406	10.19%	318
D-3	40%		77.37%	2414	9.94%	310
D-4	5%	30%	76.31%	2381	10.99%	343
D-5	20%		77.88%	2430	9.42%	294
D-6	40%		79.20%	2471	8.11%	253
D-7	20%	100%	80.42%	2509	6.89%	215

Dilation hatası enjekte edilen görüntü kitaplıklarındaki hata oranındaki artış, çıktıyı çok düşük oranda etkilemiştir. Aynı Figürde hatalı resimlerin sayısı da bu durumu pek değiştirmemiştir. Ancak hata oranı %40 civarındayken etkilemeye başladığı gözlemlendi. Tüm görüntüler hatalı olduğunda bile "görünür parça" sayısında bir artış elde edildi (etki ~%4). Burada hatalı görüntü miktarının etkisinin hata oranından daha büyük olduğu görülmüştür.

#### 4.2.7 Erosion Hata Enjeksiyon Testleri

Erosion hatasının uygulandığı görüntü kitaplıklarının kalite kontrol yazılımından geçirilmesiyle elde edilen sonuçlar Tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 10. Erosion hata enjeksiyon test sonuçları

Test Kodu	Uygulanan hata yüzdesi (%)	Küt. hatalı resim oranı (%)	Görüntülenen Parça Sayısı		Görüntülenemeyen Parça Sayısı	
			%	Miktar	%	Miktar
E-1	5%	10%	76.31%	2381	10.99%	343
E-2	20%		75.19%	2346	12.12%	378
E-3	40%		74.62%	2328	12.69%	396
E-4	5%	30%	76.31%	2381	10.99%	343
E-5	20%		74.46%	2323	12.85%	401
E-6	40%		72.63%	2266	14.68%	458
E-7	20%	100%	62.50%	1950	24.81%	774

Erosion hatası enjekte edilen görüntü kitaplıklarında hata oranı arttıkça kalite kontrol sisteminin daha "görünmez parçalar" çıkardığı gözlemlenmiştir. Bu tür bir arıza, kalite kontrol sisteminin eksik parça tespitini etkilemiştir. Aynı Figürde hatalı resim sayısı arttıkça "görünmeyen parça" sayısı da artmıştır. Tüm görüntülere bir hata uygulandığında, sistem görünmez parça sayısının normalden iki kat daha fazla olduğunu vermektedir.

#### 4.2.8 Gradient Hata Enjeksiyon Testleri

Gradient hatasının uygulandığı görüntü kitaplıklarının kalite kontrol yazılımından geçirilmesiyle elde edilen sonuçlar Tablo 11'de gösterilmektedir.

Tablo 11. Gradient hata enjeksiyon test sonuçları

Test Kodu	Uygulanan hata yüzdesi (%)	Küt. hatalı resim oranı (%)	Görüntülenen Parça Sayısı		Görüntülenemeyen Parça Sayısı	
			%	Miktar	%	Miktar
GR-1	5%	10%	73.65%	2298	13.65%	426
GR-2	20%		75.54%	2357	11.76%	367
GR-3	40%		75.64%	2360	11.67%	364
GR-4	5%	30%	70.42%	2197	16.89%	527
GR-5	20%		73.75%	2301	13.56%	423
GR-6	40%		74.39%	2321	12.92%	403
GR-7	20%	100%	61.09%	1906	26.22%	818

Gradient hataları enjekte edilen görüntü kitaplıklarında hata oranı arttıkça kalite kontrol sisteminin daha "görünmez parçalar" çıkardığı gözlemlenmiştir. Bu tür bir arıza, kalite kontrol sisteminin eksik parça tespitini etkilemiştir. Ancak hata oranı arttıkça değerler normal çıkışa yaklaşmıştır. Hatalı resim sayısındaki artış, "görünmeyen parça" sayısının arttığına dair bir çıktı vermiştir. Hata oranı ile ters orantılı ve hatalı resim sayısı ile doğru orantılı bir etkisi tespit edilmiştir.

#### 4.2.9 Motion-blur Hata Enjeksiyon Testleri

Motion-blur hatasının uygulandığı görüntü kitaplıklarının kalite kontrol yazılımından geçirilmesiyle elde edilen sonuçlar Tablo 12'de gösterilmektedir.

Motion-blur hatası enjekte edilen görüntü kitaplıklarındaki hata oranındaki artış, çıktıyı çok düşük oranda etkilemiştir. Aynı Figürde hatalı resimlerin sayısı da bu durumu pek değiştirmemiştir. Hareket

bulanıklığı hatasının kalite kontrol sisteminde incelenen görüntülere etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 12. Motion-blur hata enjeksiyon test sonuçları

Test Kodu	Uygulanan hata yüzdesi (%)	Küt. hatalı resim oranı (%)	Görüntülenen Parça Sayısı		Görüntülenemeyen Parça Sayısı	
			%	Miktar	%	Miktar
MB-1	5%	10%	76.31%	2381	10.99%	343
MB-2	20%		76.28%	2380	11.03%	344
MB-3	40%		76.31%	2381	10.99%	343
MB-4	5%	30%	76.35%	2382	10.96%	342
MB-5	20%		76.38%	2383	10.93%	341
MB-6	40%		76.38%	2383	10.93%	341
MB-7	20%	100%	76.09%	2374	11.22%	350

#### 4.2.10 Test Bulguları

Gerçekleştirilen hata enjeksiyon testlerinin sonuçları Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 13. CamFITool Test Sonuçları

Hata Türü	Görünen Parça Sayısına Etkisi	Ortalama Değişim Oranı*
Tuz&Biber	Arttı	4.38%
Gaussian	Arttı	4.75%
Poisson	Arttı	4.71%
Open	Etkisiz	-0.30%
Close	Etkisiz	-0.01%
Dilation	Düşük Etkili	1.49%
Erosion	Azaldı	-3.16%
Gradient	Azaldı	-4.24%
Motionblur	Etkisiz	-0.01%

\* Her hata türü için uygulanan yedi testin ortalama değişim oranı

#### 5. Sonuç ve Gelecek Çalışmalar

CamFITool hata enjeksiyon aracı kullanılarak ROKOS robot kameralardan elde edilen 293 şase görüntünden oluşan resim kitaplığına çeşitli hatalar, çeşitli oranlarda enjekte edilmiş ve OTOKAR kamera kalite kontrol sistemi yazılımının bu görüntülere verdiği yanıtların test ve sonuçları derlenmiştir. Dokuz farklı hata tipi, farklı hata oranları ve yanlış görüntü miktarları ile 49 farklı hata enjeksiyon test planı ile hangi hata enjeksiyonunun sistemi etkilediği araştırılmıştır. Bu testler sonucunda kusur tiplerinin "görünür parça sayısı" üzerindeki etkileri Tablo 13'te (bkz. Bölüm 4.2.10) gösterilmiştir.

Bu çalışmada, hataya dayanıklı sistemlerin emniyet ve güvenliğini değerlendirmek için kritik bir araç olan açık kaynaklı bir hata enjeksiyon aracı olan CamFITool önerilmiştir. Sonuç olarak, robotik sistemlerde kamera tabanlı algılama çalışmaları ve sistemlerin hata toleranslarının belirlenmesine yardımcı olmak için hata enjeksiyon test planları sunulmuş, bu test planlarının uygulama sonuçları açıklanmıştır.

CamFITool, açık kaynak kodlu bir Figürde geliştirilmeye ve yeni özellikler eklenmeye devam edilmektedir (CamFITool Github Sayfası, 2021).

**Çıkar Çatışması**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

**Kaynaklar**

- Acton, S. T., & Mukherjee, D. P. (2000). Scale space classification using area morphology. *IEEE Transactions on Image Processing*, 9(4), 623-635. <http://dx.doi.org/10.1109/83.841939>.
- Barbu, T. (2013). Variational image denoising approach with diffusion porous media flow. In *Abstract and Applied Analysis* (Vol. 2013). Hindawi. <https://doi.org/10.1155/2013/856876>.
- Blanter, Y. M., & Büttiker, M. (2000). Shot noise in mesoscopic conductors. *Physics reports*, 336(1-2), 1-166. [https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(99\)00123-4](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(99)00123-4).
- Erdogmus, A. K., & Karaca, M. (2021). Manipulation of Camera Sensor Data via Fault Injection for Anomaly Detection Studies in Verification and Validation Activities For AI. arXiv preprint arXiv:2108.13803. <http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.2108.13803>.
- Everingham, M., Van Gool, L., Williams, C. K., Winn, J., & Zisserman, A. (2010). The pascal visual object classes (voc) challenge. *International journal of computer vision*, 88(2), 303-338. <https://doi.org/10.1007/s11263-009-0275-4>.
- Fisher, M., Cardoso, R. C., Collins, E. C., Dadswell, C., Dennis, L. A., Dixon, C., ... & Webster, M. (2021). An overview of verification and validation challenges for inspection robots. *Robotics*, 10(2), 67. <https://doi.org/10.3390/robotics10020067>.
- Jankowski, M. (2006). Erosion, dilation and related operators. Department of Electrical Engineering University of Southern Maine Portland, Maine, USA.
- Jha, S., Banerjee, S. S., Cyriac, J., Kalbarczyk, Z. T., & Iyer, R. K. (2018). Avfi: Fault injection for autonomous vehicles. In 2018 48th annual IEEE/IFIP international conference on dependable systems and networks workshops (dsn-w) (pp. 55-56). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/DSN-W.2018.00027>.
- Ji, H., & Liu, C. (2008). Motion blur identification from image gradients. In 2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 1-8). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/CVPR.2008.4587537>.
- Kendall, A., Grimes, M., & Cipolla, R. (2015). Posenet: A convolutional network for real-time 6-dof camera relocalization. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 2938-2946).
- Larnier, S., Fehrenbach, J., & Masmoudi, M. (2012). The topological gradient method: From optimal design to image processing. *Milan Journal of Mathematics*, 80, 411-441. <https://doi.org/10.1007/s00032-012-0196-5>.
- Park, H., & Mu Lee, K. (2017). Joint estimation of camera pose, depth, deblurring, and super-resolution from a blurred image sequence. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 4613-4621).
- Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., ... & Ng, A. Y. (2009). ROS: an open-source Robot Operating System. In *ICRA workshop on open source software* (Vol. 3, No. 3.2, p. 5).
- Rosin, P., & Collomosse, J. (Eds.). (2012). *Image and video-based artistic stylisation* (Vol. 42). Springer Science & Business Media.
- Schottky, W. (2018). On spontaneous current fluctuations in various electrical conductors. *Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS*, 17(4), 041001. <https://doi.org/10.1117/1.JMM.17.4.041001>.
- Yayan, U. & Erdoğan, A. (2021). Endüstriyel Robot Hareket Planlama Algoritmaları Performans Karşılaştırması. *Journal of Scientific, Technology and Engineering Research*, 2 (2), 31-45. DOI: 10.53525/jster.979689.
- Yayan, U., & Erdoğan, A. K. (2022). Development of A Fault Injection Tool & Dataset for Verification of Camera Based Perception In Robotic Systems. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(3), 328-339. <https://doi.org/10.31796/ogummf.1054761>.
- CamFITool ROS Wiki Sayfası. (2021). Erişim adresi: <http://wiki.ros.org/camfitool/>.
- Sciforce, (2019). Anomaly Detection, A Key Task for AI and Machine Learning, Explained. Erişim adresi: <https://www.kdnuggets.com/2019/10/anomaly-detection-explained.html>
- OpenCV, (2021). Morphological Transformations. Erişim adresi: [https://docs.opencv.org/4.5.3/d9/d61/tutorial\\_py\\_morphological\\_ops.html](https://docs.opencv.org/4.5.3/d9/d61/tutorial_py_morphological_ops.html).
- CamFITool Github Sayfası, (2021). Erişim adresi: <https://github.com/inomuh/Camera-Fault-Injection-Tool>.

## DOLGU BARAJ GRANÜLER ZEMİNLERİNDE İÇSEL STABİLİTE POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sadettin TOPÇU<sup>1\*</sup>, Evren SEYREK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Bölümü, Kütahya  
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-1306-2502>

<sup>2</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya  
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-4373-6723>

Anahtar Kelimeler	Öz
Dolgu baraj Sızma İçsel erozyon Sufüzyon Granüler filtre	<i>Dolgu barajların uzun dönemli güvenliği, sızma akımının gerçekleştiği zeminlerin içsel stabilitesine bağlıdır. Sufüzyon/sufozyon, kohezyonsuz zeminlerde görece ince malzemelerin, iri malzemelerin arasındaki boşluklardan sızma akımıyla taşınması olarak tanımlanır. Sufüzyon/sufozyon mekanizmasına bağlı olarak gerçekleşen içsel stabilite bozulmasıyla, granüler filtrelerde geriye doğru erozyon(borulanma) veya boşluk suyu basıncındaki artışa bağlı olarak statik stabilite kaybı gözlemlenebilir. Sufüzyonun gerçekleşebilmesi için iki koşul vardır: Sızma akımının yeterli hidrolik eğime sahip olması ve malzemenin granülometrisinin danelerin taşınmasına elverişli olması. Granüler filtrelerin tasarım ve planlanmasında sufüzyon mekanizmasının önceden belirlenebilmesi için bazı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu çalışmada, dane çapı dağılım eğrisini kullanarak içsel stabilite potansiyelini belirleyen Istomina, Kezdi, Kenney ve Lau ile Burenkova metotları karşılaştırılmıştır. Eskişehir ili sınırları içerisinde yer alan Gökpınar Barajı'nın yarı-geçirimli malzeme sahasındaki plastik olmayan zeminler üzerinde yapılan çalışmaya göre, yöntemlerin uygulama esasları birbirine benzedikçe aynı değerlendirme sonucunu bulma oranları artmaktadır.</i>

### ASSESSMENT OF INTERNAL STABILITY POTENTIAL IN EMBANKMENT DAM GRANULAR SOILS

Keywords	Abstract
Embankment dam Seepage Internal erosion Suffusion Granular filter	<i>The long-term safety of embankment dams depends on the soil's internal stability where seepage occurs. Suffusion/suffosion transports relatively fine materials through the voids between coarse materials by seepage flow in cohesionless soils. Backward erosion (piping) or a loss of static stability can be observed due to increased pore water pressure in granular filters with internal stability deterioration due to the suffusion/suffosion mechanism. There are two conditions for suffusion to occur: The seepage flow must have sufficient hydraulic gradient, and the granulometry of the material must be suitable for the transport of the grains. Some approaches have been developed to predetermine the suffusion mechanism in designing and planning granular filters. In this study, Istomina, Kezdi, Kenney-Lau, and Burenkova methods that determine the internal stability potential of soil using the particle size distribution curve have been compared. According to the study carried out on non-plastic (N.P) soils in the semi-permeable material field of Gökpınar Dam, which is located within the borders of Eskişehir province, the rates of finding the same evaluation result increase as the application principles of the methods are similar.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 19.09.2023

Submission Date : 19.09.2023

Kabul Tarihi : 27.12.2023

Accepted Date : 27.12.2023

\* Sorumlu yazar: [sadettin.topcu@dpu.edu.tr](mailto:sadettin.topcu@dpu.edu.tr)  
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1362774>

#### 1. Giriş

Dolgu barajlar içme suyu, tarımsal sulama, enerji üretimi ve taşkın kontrolü için altyapı hizmeti sunan mühendislik yapılarıdır. Ancak kalitesiz inşaat üretimi, yetersiz kontrol ve bakım nedeniyle üstten aşma veya

içsel erozyon modlarında göçebilmektedirler (Seyrek ve Topçu, 2022). Baraj yıkılmasıyla gelişen taşkınlar can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Kil çekirdekli kaya dolgu baraj olan Gouhou Barajı'nın içsel erozyon modunda göçmesiyle oluşan taşkın nedeniyle 300 kişi hayatını kaybetmiştir (Zhang ve Chen, 2006).



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

İçsel erozyon, Topçu (2020) tarafından şu şekilde tanımlanmaktadır: “İnşaat mühendisliği toprak işleri uygulamalarında, zemin içinde yer alan görece ince malzemelerin, sızma ortamında bulunan boşluklardan veya değişik faktörlerin etkisi ile dolgu içinde oluşan çatlaklardan sızma ve yerçekimi kuvvetleri etkisi altında taşınması ve bu işleme bağlı olarak ortamda su taşınmasına neden olan boşlukların oluşmasıdır” (s. 46). İçsel erozyonun geriye doğru erozyon (borulanma), kaçak erozyonu, toplam geriye doğru erozyon, kontak erozyonu ve sufüzyon/sufozyon olmak üzere beş farklı biçimi vardır (USBR, 2019). Granüler zeminlerde ince malzemelerin iri malzemelerin arasından sızma akımıyla taşınarak zemin iskeletinde geriye sadece iri malzemelerin kalması olayına sufüzyon/sufozyon adı verilir. Bu malzeme taşınımı sonrası hacimsel değişiklik meydana geliyorsa sufozyon; gelmiyorsa sufüzyon adı verilir (Bonelli, 2013). Sufüzyon/sufozyon olayının gelişebileceği zeminler aynı zamanda içsel stabilitesi olmayan zeminler olarak tanımlanır. Milano şehrindeki bir barajda sufüzyon olayı barajın temelinde görülmüştür. Temeldeki görece ince malzemenin taşınmasıyla temelde farklı oturmalar meydana gelmiştir (Cividini vd., 2009). Charles (2001) içsel erozyonun görüldüğü 42 vakanın 20’sinde dolguda oyuklar gözlemlendiğini ve bunlardan birinde de şev göçmesinin gerçekleştiğini bildirmiştir. 1968 yılında inşa edilmiş WAC Bennet Barajı’nda 1996 yılında gerçekleşen sufüzyon olayı neticesinde 2.5 m çapında ve 7 m derinliğinde krette oyuk gözlemlenmiştir (Flores-Berrones vd., 2011). Dolgu barajların granüler filtre tasarımı zeminlerin içsel stabilite potansiyeli dikkate alınması gerekli olan bir tasarım kriteridir (GEO, 1993; ICOLD, 1994; FEMA, 2015). Bunun yanında özellikle heyelan set göllerinin kontrolsüz bir şekilde oluşan doğal seddelerinde de araştırılması gereken bir konudur (Chang, 2012). Sufüzyonun geliştiği zeminlerde porozite artışıyla birlikte permeabilite artabilmekte ve zaman içinde sufüzyon mekanizması geriye doğru erozyona (borulanma) evrilebilmektedir. Diğer taraftan sufüzyon, taşınan ince malzemenin daneler arasındaki mevcut boşlukları doldurmasıyla birlikte tıkanmalara neden olması sebebiyle boşluk suyu basınçlarının artmasına neden olarak statik stabilitenin bozulmasına neden olabilmektedir.

Granüler zeminlerin içsel stabilite potansiyeli geometrik koşullar (dane çapı ve dağılımı, boşluk boyutu, dağılımı ve şekli), mekanik koşullar (sıkıştırma derecesi, kohezyon, efektif gerilme) ve hidrolik koşullar (sızma akımının hidrolik eğimi, yönü, boşluk sıvısının kimyasal özellikleri) dikkate alınarak kontrol edilir (Schuler, 1995). Zeminlerin içsel stabilite potansiyeli pratik olarak dane çapı dağılımı üzerinden belirlenmekte olup birçok araştırmacı sufüzyon/sufozyon potansiyelinin belirlenmesinde farklı yöntemler geliştirmişlerdir (USACE, 1953; Kenney ve Lau, 1985; Fannin ve Moffat, 2006; Wan ve Fell, 2008; Indraratna vd., 2011). Dane

çapı dağılımı eğrisine göre genel olarak, yatay ince kesime ve dikey kaba kesime sahip iyi derecelenmiş zeminler ile boşluklu derecelenmiş zeminlerin içsel stabilitelerinin olmayacağı belirlenmiştir. Sufüzyonun başlaması için sızma akımının yeterli hidrolik eğime sahip olması gerekir. Bu hidrolik eğim kritik hidrolik eğim ( $i_{cr}$ ) olarak adlandırılır. Yapılan deneysel çalışmalarda yukarı yönlü sızma akımlarındaki kritik hidrolik eğimin aşağı yönlü ve yatay sızma akım durumlarına göre daha büyük olduğu belirlenmiştir (Adel vd., 1988). İçsel stabilitenin bozulduğu kritik hidrolik eğim için efektif gerilmelerin sıfır olarak kabul edildiği yaklaşımlar bulunmaktadır (Terzaghi, 1939; Skempton and Brogan, 1994). Bunun yanında efektif gerilmelerin de dikkate alındığı kritik hidrolik eğim hesabı geliştirilmiştir (Li ve Fannin, 2012). İçsel stabilite potansiyelinin değerlendirilmesinde efektif gerilmenin dikkate alınmadığı kritik hidrolik eğim yaklaşımları sadece yukarı yönlü sızma akımı durumunda kullanılır.

Son yıllarda gerilme koşullarının sufüzyon mekanizması üzerine etkisi bazı araştırmacılar tarafından fark edilmiştir (Fell ve Fry 2007; Richards ve Reddy 2007; Moffat ve Fannin 2011). Moffat ve Fannin (2011) efektif gerilmelerin artmasıyla içsel erozyonu başlatan kritik hidrolik eğimlerin arttığını belirtmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında; Eskişehir il sınırları içerisinde yer alan Gökpınar Barajı’nın yarı-geçirimli malzeme sahalarındaki granüler zeminlerin içsel stabilite potansiyeli dane çapı dağılımı eğrileri kullanılarak dört farklı yaklaşıma göre belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Materyal

Bu çalışmada Gökpınar Barajı’ndaki granüler filtre inşaatında kullanılan non-plastik (N.P) yarı-geçirimli malzemelerin içsel stabilite potansiyeli belirlenecektir. Kil çekirdekli kaya dolgu tipinde inşa edilen Gökpınar Barajı, sulama ve içme suyu amaçlı kullanılacaktır. Gökpınar Barajı’nın proje özellikleri Tablo 1’de verilmektedir. Gökpınar Barajı, Eskişehir ili Günyüzü İlçesi Kayakent Beldesine bağlı Sakarya Mahallesi’nin 2.5 km güneybatısında ve Gökpınar deresi üzerindedir (Şekil 1).

Tablo 1. Gökpınar barajına ait proje karakteristikleri

Gövde şevleri (mamba-mansap)	1.0D/1.8Y
Kret kotu (m)	812.00
Talveg kotu (m)	784.00
Temel kotu (m)	759.00
Talvegten yüksekliği (m)	28.00
Temelden yüksekliği (m)	53.00
Kret genişliği (m)	10.00
Kret uzunluğu (m)	528.41
Maksimum su seviyesi (m)	810.93
Normal su seviyesi (m)	808.15
Minimum su seviyesi (m)	787.58

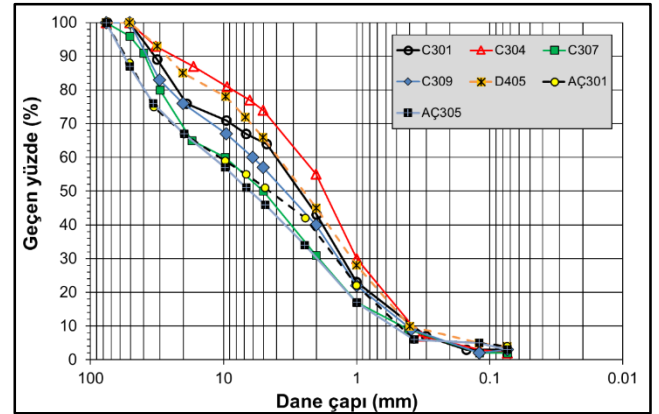


Şekil 1. Proje sahası ve yer bulduru haritası

Gökpinar Barajı projesi kapsamında yarı-geçirimli malzemenin karşılanması amacı ile planlama çalışmalarında C ve D olmak üzere iki adet malzeme sahası belirlenmiştir. Yarı-geçirimli malzeme sahası olarak öncelikle C malzeme sahasının kullanılması, ihtiyacın artması durumunda ise alternatif olarak önerilen D geçirimli malzeme sahasının kullanılması uygun görülmüştür. C malzeme sahasında 11 adet, D malzeme sahasında ise 10 adet araştırma çukuru açılmıştır. C ve D malzeme sahasları için malzeme rezervleri sırasıyla 940.000 m<sup>3</sup> ve 330.000 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Malzeme sahaslarından alınan örnekler üzerinde elek analizi, özgül gravite, su emme deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, sodyum sülfat (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) don kaybı deneyi, organik madde ve kil toprakları deneyleri yapılmıştır. İçsel stabilite potansiyeli belirlenecek non-plastik granüler malzemelerin elek analizi sonucu elde edilen dane çapı dağılım eğrileri ve diğer laboratuvar deney sonuçları sırasıyla Şekil 2 ve Tablo 2'de gösterilmektedir. Malzeme örnekleri üzerinde gerçekleştirilen organik madde tayini deneyinde de olumlu sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Yarı-geçirimli malzeme örneklerinde özgül gravite 2.65'ten büyük olmalı kriterini sağlamaktadır. Los Angeles deneyi için 100 turda en fazla % 10, 500 turda ise en fazla % 40 aşınma kaybı olmalıdır. Buna göre D405 örneği dışında yarı-geçirimli malzemenin Los Angeles aşınma kaybı değerleri bu limitler içerisinde.

Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> don kaybı (%) değerleri kum için % 10; çakıl için % 12 olmalıdır. Malzemeler kullanım limitleri açısından uygundur. Kil toprakları (%) ise kum için en fazla 1; çakıl için 2.5 önerilmektedir. Malzeme örnekleri yine tasarım ve uygulama kriterleri açısından uygundur.



Şekil 2. Dikkate alınan granüler örnekler için dane dağılım eğrileri

## 2.2 Metot

Çalışma kapsamında dikkate alınan granüler malzemelerin içsel stabilite potansiyeli dane dağılım eğrisi üzerinden belirlenmiştir. Bu esasa göre oluşturulan ve detayları aşağıda verilen dört farklı yaklaşım dikkate alınmıştır. Bu yaklaşımlardan ikisinde üniformite faktörü tarif ederek değerlendirme yapılırken, diğer ikisi ise doğrudan dane çapı dağılımı eğrisi kullanılmaktadır.

Tablo 2. Laboratuvar deney sonuçları

Örnek No.	Özgül Gravite		Los Angeles (% Kayıp)				Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Don Kaybı (%)					Kil Topakları (%)		USCS Sınıfı
	İnce Agrega (kum)	Kaba Agrega (çakıl-moloz)	İnce Agrega		Kaba Agrega		Tek dane sınıfları (mm)					Kum	Çakıl	
			100 Tur	500 Tur	100 Tur	500 Tur	2.00-4.76	4.76-9.5	9.50-19.0	19.0-37.5	37.5-63.0			
C301	2.70	2.69	7.7	29.9	8.3	34.7	0.6	0.6	1.1	0.7	1.1	0.53	0.25	SW
C304	2.71	2.69	9.9	30.2	8.6	35.3	0.7	0.8	0.9	1.0	0.9	0.88	0.62	SW
C307	2.70	2.72	6.9	29.7	7.7	36.2	1.0	1.0	0.9	0.9	1.2	0.62	0.51	GP
C309	2.70	2.69	7.5	30.0	8.7	34.1	0.7	0.6	0.9	0.8	1.1	0.28	0.12	SP
D405	2.59	2.67	8.5	25.9	11.9	37.7	1.0	0.9	1.1	0.8	1.0	0.92	0.46	SP
AÇ301	2.66	2.67	6.3	25.7	7.1	29.5	0.7	0.8	0.9	0.9	1.1	1.22	0.32	GP
AÇ305	2.68	2.66	4.1	4.9	5.8	7.1	0.5	0.6	0.6	0.8	0.9	0.28	0.19	GP

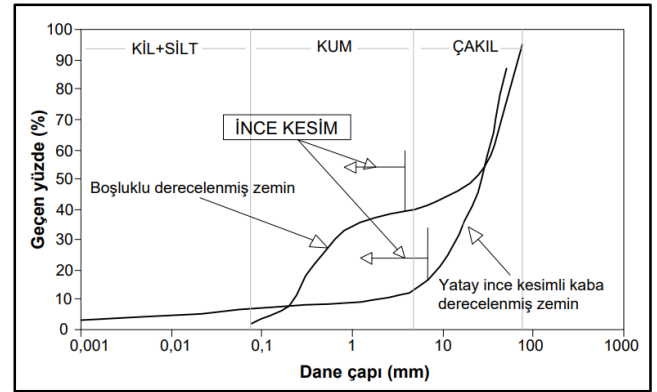
### 2.2.1. Istomina (1957) kriteri

Granüler zeminlerin içsel stabilite potansiyelinin değerlendirilmesinde en basit yaklaşım olarak ön plana çıkmaktadır. Kumlu-çakıllı zeminlerde içsel stabilite potansiyelinin belirlenebilmesi için üniformluk katsayısına ( $C_u=d_{60}/d_{10}$ ) bağlı geometrik bir kriter tanımlanmıştır (Kovacs, 1981). Buna göre;  $C_u < 10$  ise stabil zemin;  $C_u \geq 10$  ise stabil olmayan zemin olarak belirtilmektedir ( $d_{60}$ = Malzemenin % 60'ının geçtiği dane çapı.  $d_{10}$  = Malzemenin % 10'unun geçtiği dane çapı).

### 2.2.2. Kezdi (1979) kriteri

Bu yaklaşımın temelini Terzaghi (1939) tarafından belirtilen filtrasyon kriteri oluşturmaktadır. Bu kritere göre taban malzemesi filtre malzemesinde oluşan boşluklardan geçemez. Bu yöntemde granüler zeminler görece ince ve kaba zeminlere ayrılarak iki farklı bileşen olarak göz önünde tutulur (Şekil 3).

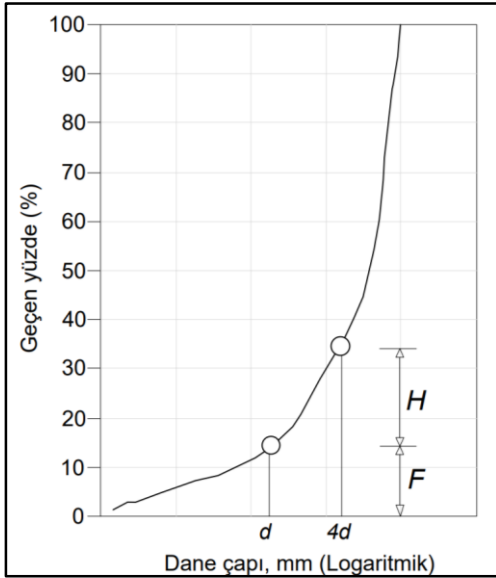
Dane çapı dağılım eğrisinde kaba kesim olarak belirlenen malzeme, ince kesim olarak belirlenen malzeme için filtre görevini yapabilirse bu malzemenin tamamı için stabil zemin olduğu kabulü yapılır. Bu yöntemde dane çapı dağılımı eğrisi isteğe bağlı olarak kaba ve ince kesime ayrılır. Eğer  $(d_{15c}/d_{85f})_{maks} < 4$  ise granüler zeminin içsel stabilitesinin sağladığı değerlendirilir ( $d_{15c}$ : Kaba kesimin % 15'inin geçtiği dane çapı.  $d_{85f}$ : İnce kesimin % 85'inin geçtiği dane çapı). Kezdi kriteri laboratuvarında deneysel çalışmalarla desteklenmemiş bir içsel stabilite değerlendirme yöntemidir.



Şekil 3. Dane çapı dağılımı eğrisine göre Kezdi Metodu'nun uygulanması (Wan ve Fell, 2008)

### 2.2.3. Kenney ve Lau (1985, 1986) kriteri

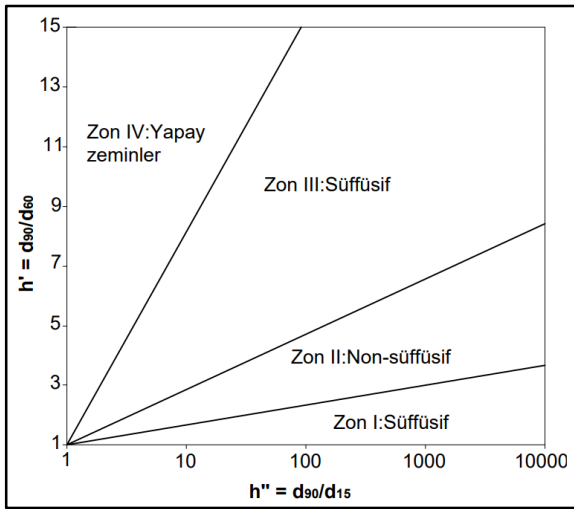
Silt içeriği olmaksızın, en fazla 100 mm dane çapına sahip kohezyonsuz kum-çakıl içerikli zemin örnekleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda Şekil 4'te gösterildiği gibi dane çapı  $d$  ve  $4d$  arasında olan malzeme (ağırlıkça yüzde geçeni  $H$  olan) yeterli değil ise  $d$  çapından daha ince olan malzeme (Ağırlıkça yüzde geçeni  $F$  olan) muhtemelen süzyon mekanizması ile taşınacaktır.  $(H/F)_{min}$  sınır değeri başlangıçta 1.3 olarak belirlenmiştir. Fakat Milligan (1986), Ripley (1986) ile Sherard ve Dunnigan (1986) tarafından yapılan kapsamlı bir tartışma sonucunda bu sınır değeri 1.0'a düşürülmüştür. Bu çalışma kapsamında da  $(H/F)_{min}$  değeri 1.0 olarak dikkate alınmıştır. Diğer bir ifade ile  $(H/F)_{min} < 1$  ise malzeme stabil olmayan zemin olarak değerlendirilmiştir.  $(H/F)_{min}$  elde edilirken  $C_u > 3$  olan zeminler için  $F \leq \% 20$ ;  $C_u \leq 3$  olan zeminler için ise  $F \leq \% 30$  olarak dikkate alınmaktadır.



Şekil 4. Kenney-Lau içsel stabilite değerlendirme kriteri

#### 2.2.4. Burenkova (1993) kriteri

Burenkova tarafından yapılan deneysel çalışmalarda kohezyonsuz, % 10'dan az silt içeriği olan ve en fazla 100 mm dane çapına sahip kum-çakıl karışımı zeminler kullanılmıştır. Üç farklı dane çapı ( $d_{90}$ ,  $d_{60}$  ve  $d_{15}$ ) dikkate alınarak iki üniformite faktörüne ( $h' = d_{90}/d_{60}$ ,  $h'' = d_{90}/d_{15}$ ) bağlı olarak granüler zeminlerin içsel stabiliteleri bir tasarım kartı ile değerlendirilebilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Burenkova içsel stabilite değerlendirme tasarım kartı (Burenkova, 1993)

### 3. Bulgular ve Tartışma

Gökpınar Barajı'nın yarı-geçirimli malzeme sahasındaki non-plastik yedi adet granüler malzeme örneği üzerinde yapılan elek analizi sonrasında ortaya çıkan

granülometri eğrileri kullanılarak Tablo 3'de özet olarak verilen parametreler elde edilmiştir.

Tablo 3'de özetlenen ilgili parametreler yardımıyla Istomina (1957). Kezdi (1979). Kenney ve Lau (1985;1986) ve Burenkova (1993) yöntemleri kullanılarak granüler zeminlerin içsel stabilite potansiyelleri belirlenmiş ve Şekil 6'da verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Dört farklı yaklaşım içinde en tutucu değerlendirmeler Burenkova yöntemiyle yapılmıştır. En az tutucu değerlendirmeler ise Kenney-Lau metoduyla yapılmaktadır. Burenkova yedi örnekten bir tanesi için stabil zemin değerlendirmesi yaparken; tam tersi Kenney-Lau yönteminde ise sadece bir örnek için stabil olmayan zemin tespiti yapılmaktadır. Sonuçların birbirine en yakın belirlendiği yöntem ikilileri sırasıyla Burenkova-Istomina ile Kezdi-Kenney ve Lau yöntemleridir. Bunun sebebi olarak bu ikililerin içsel stabilite potansiyelini belirlerken temel esaslarının benzere yakın olmasıdır. Kezdi ile Kenney-Lau yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçların benzer birbirine yakın ifadeler içermesi ile açıklanabilir. İkisi de görece kaba malzemenin ince malzemeyi boşluklarında tutarak filtreleme görevini yaptığını kabul etmektedir. Bu iki yöntemde de belirlenen çapların birbirinin 4 katı olması bu filtrasyon kriterinin de aynı şekilde göz önünde tutulduğunu ifade etmektedir. Yine Burenkova ve Istomina yöntemlerinde dane çapı dağılım eğrisinde üniformluk katsayısı ( $C_u$ ), kaba kesimin eğimi ( $h'$ ) ve eğrinin genel eğimi ( $h''$ ) gibi anahtar düzeyinde önemli benzer değerler dikkate alındığı unutulmamalıdır.

İçsel stabilite potansiyeli belirlenirken esas olarak farklı prosedürleri uygulayan Kezdi ve Istomina yaklaşımlarının bazı malzeme örneklerinde benzer değerlendirme sonucunu vermesi dikkati çekmektedir. Esas olarak farklı prosedürleri kullanan yöntemlerden Kenney-Lau ile Burenkova ise birbirinden çok farklı sonuçlar sunmaktadır. Bunun sebebi olarak Burenkova yönteminin geliştirilmesi esnasında kullanılan tüm zemin örneklerinin  $(H/F)_{min} = 0.17-0.77$  değerlerinin 1'den küçük olduğu gösterilebilir. Diğer bir ifade ile Burenkova yöntemi belirlenirken kullanılan tüm malzeme örnekleri, Kenney-Lau yaklaşımına göre stabil olmayan zemin grubuna girmektedir.

Kezdi ve Istomina yaklaşımları özellikle malzemede  $C_u \geq 20$  değerleri için ortak bir şekilde aynı değerlendirme sonucunu bulmaktadırlar. Bu üniformluk katsayısı değerleri için her iki yaklaşımda da malzemeler içsel stabilitesi olmayan zeminler olarak tanımlanmaktadır.



Tablo 3. İçsel stabilite potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan parametreler

Parametre	C301	C304	C307	C309	D405	AÇ301	AÇ305
d <sub>10</sub> (mm)	0.4	0.38	0.47	0.42	0.40	0.49	0.51
d <sub>15</sub> (mm)	0.6	0.50	0.80	0.60	0.50	0.65	0.81
d <sub>30</sub> (mm)	1.3	1.00	1.90	1.40	1.10	1.50	2.00
d <sub>60</sub> (mm)	4.2	2.60	10.00	6.00	3.90	10.10	10.30
d <sub>90</sub> (mm)	33.0	23.0	39.0	38.0	26.0	55.0	58.0
C <sub>u</sub>	10.5	6.84	21.28	14.29	9.75	20.61	20.20
h'	7.86	8.85	6.50	6.33	2.60	14.10	5.74
h''	56.90	46.00	48.75	63.33	52.00	84.62	71.60
(H/F) <sub>min</sub>	1.17	1.95	1.45	1.33	1.25	0.50	1.00
(d <sub>15c</sub> /d <sub>85f</sub> ) <sub>maks</sub>	3.60	2.70	4.52	3.55	2.86	6.50	9.23

Metot	C301	C304	C307	C309	D405	AÇ301	AÇ305
Istomina (1957)	Stabil olmayan zemin	Stabil zemin	Stabil olmayan zemin	Stabil olmayan zemin	Stabil zemin	Stabil olmayan zemin	Stabil olmayan zemin
Kezdi (1979)	Stabil zemin	Stabil zemin	Stabil olmayan zemin	Stabil zemin	Stabil zemin	Stabil olmayan zemin	Stabil olmayan zemin
Kenney ve Lau (1985;1986)	Stabil zemin	Stabil zemin	Stabil olmayan zemin	Stabil zemin	Stabil zemin	Stabil olmayan zemin	Stabil zemin
Burenkova (1993)	Stabil olmayan zemin	Stabil olmayan zemin	Stabil olmayan zemin	Stabil olmayan zemin	Stabil zemin	Stabil olmayan zemin	Stabil olmayan zemin

Stabil zemin
  Stabil olmayan zemin

Şekil 6. Dikkate alınan örneklerin içsel stabilite değerlendirme sonuçları

#### 4. Sonuçlar

Eskişehir Gökpınar Barajı'nın plastik olmayan granüler filtre malzemesinin süzüyon mekanizmasına bağlı içsel stabilite potansiyelinin dört farklı yöntemle (Istomina, Kezdi, Kenney-Lau, Burenkova yaklaşımları) değerlendirildiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmektedir:

- Granüler zeminlerde dört yaklaşım için içsel stabilite potansiyel değerlendirme sonuçları en tutucu olanı Burenkova yöntemidir.
- Granüler zeminler için içsel stabilitenin belirlendiği yaklaşımlarda uygulanan prosedürler birbirine benzedikçe malzemelerin stabilite tanımlama sonucunu aynı bulma oranı artmaktadır.
- Granüler zeminlerde süzüyona bağlı içsel stabilite potansiyelinin belirlenmesinde birden fazla ve farklı esasları olan yöntemlerin kullanılması ön tasarım açısından son derece önemlidir.
- Dane çapı dağılımı eğrisini kullanarak belirlenen içsel stabilitenin sağlanamadığı granüler filtre malzemeleri için süzüyonun tetikleneceği kritik hidrolik eğimler hesaplanmalıdır. Hesaplanan kritik hidrolik eğimlerin oluşamayacağı dolgu enkesit tasarımı ve geometrisi, nümerik modeller kullanılarak değerlendirilmelidir.

#### Teşekkür

Bu çalışmada dikkate alınan Gökpınar Barajı'na ait verileri paylaşan HMP İletişim İnşaat Enerji Taahhüt San. ve Tic. A.Ş. firmasına teşekkür ederiz.

#### Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; S. Topçu, literatür araştırması, bu çalışmaya ait analizlerin yapılması ve sonuçların yorumlanması; E. Seyrek, sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamıştır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### Kaynaklar

- Adel, H. D., Bakker, K. J., ve Breteler, M. K. (1988). Internal stability of minestone. Proceedings of International Symposium on Modelling Soil-Water-Structure Interactions, Balkema, Rotterdam, 225-231.
- Bonelli, S. (2013). Erosion in geomechanics applied to dams and levees, ISTE Limited, London, UK.
- Burenkova, V., V. (1993). Assessment of suffosion in granular and graded soils. Filters in Geotechnical and

- Hydraulic Engineering, Karlsruhe, Germany, 357–360.
- Chang, D. (2012). Internal erosion and overtopping erosion of earth dams and landslide dams, Ph. D. Thesis. The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong.
- Charles, J., A. (2001). Internal erosion in European embankments dams. Proceedings of Hydropower 01, ICOLD European Symposium, Geiranger, Norway.
- Cividini, A., Bonomi, S., Vignati, G. C., Gioda, G. (2009). Seepage-induced erosion in granular soil and consequent settlements. International Journal of Geomechanics, 9(4): 187–194. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1532-3641\(2009\)9:4\(187\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1532-3641(2009)9:4(187)).
- Fannin, R. J., ve Moffat, R. (2006). Observations on internal stability of cohesionless soils. Geotechnique, 56(7): 497–500. doi: <https://doi.org/10.1680/geot.2006.56.7.497>
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2015). Evaluation and monitoring of seepage and internal erosion, FEMA P-1032 Report, Washington DC, 576 s. Erişim adresi: [https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema\\_p1032\\_eval\\_monitoring\\_seepage\\_internal\\_erosion.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema_p1032_eval_monitoring_seepage_internal_erosion.pdf)
- Fell, R., Fry, J., J. (2007). The state of the art of assessing the likelihood of internal erosion of embankment dams, water retaining structures and their foundations. Internal Erosion of Dams and their Foundations. Taylor & Francis Group, London, 1–23.
- Flores-Berrones, R., Ramirez-Reynaga, M., Macari, E. J. (2011). Internal erosion and rehabilitation of an earth-rock dam, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 137(2): 150–160. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000371](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000371)
- Geotechnical Engineering Office (GEO). (1993). Review of granular and geotextile filters. GEO Publication No. 1/93. Civil Engineering Department, Hong Kong. Erişim adresi: [https://www.cedd.gov.hk/filemanager/eng/content\\_t\\_147/ep1\\_93.pdf](https://www.cedd.gov.hk/filemanager/eng/content_t_147/ep1_93.pdf)
- ICOLD. (1994). Embankment dams: granular filters and drains. Bulletin No. 95, International Commission on Large Dams, Paris, France.
- Indraratna, B., Nguyen, V. T., ve Rujikiatkamjorn, C. (2011). Assessing the potential of internal erosion and suffusion of granular soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 137(5): 550–554. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000447](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000447)
- Kenney, T. C., ve Lau, D. (1985). Internal stability of granular filters. Canadian Geotechnical Journal, 22(2): 215–225. doi: <https://doi.org/10.1139/t85-029>
- Kenney, T. C., ve Lau, D. (1986). Internal stability of granular filters: Reply. Canadian Geotechnical Journal, 23(3): 420–423. doi: <https://doi.org/10.1139/t86-068>
- Kezdi, A. (1979). Soil physics-selected topics. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam.
- Kovacs, G. (1981). Seepage hydraulics. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Li, M., ve Fannin, R. J. (2012). A theoretical envelope for internal instability of cohesionless soil. Geotechnique, 62(1): 77–80. doi: <https://doi.org/10.1680/geot.10.T.019>
- Milligan, V. (1986). Internal stability of granular filters: Discussion. Canadian Geotechnical Journal, 23(3): 414–418. doi: <https://doi.org/10.1139/t86-066>
- Moffat, R., Fannin, R., J. (2011). A hydromechanical relation governing internal stability of granular soil. Canadian Geotechnical Journal, 48(3): 413–424. doi: <https://doi.org/10.1139/T10-070>
- Richards, K. S., Reddy, K. R. (2007). Critical appraisal of piping phenomena in earth dams, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 66(4): 381–402. doi: <https://doi.org/10.1007/s10064-007-0095-0>
- Ripley, C. F. (1986). Internal stability of granular filters: Discussion. Canadian Geotechnical Journal, 23(2): 255–258. doi: <https://doi.org/10.1139/t86-037>
- Schuler, U. (1995). How to deal with the problem of suffusion. Research and Development in the Field of Dams, 7(9), 145–159.
- Seyrek, E., ve Topcu, S. (2022). Prediction of earthquake-induced crest settlement of embankment dams using gene expression programming. Geomechanics and Engineering, 31(6), 637–651. doi: <https://doi.org/10.12989/gae.2022.31.6.637>
- Sherard, J. L., and Dunnigan, L. P. (1986). Internal stability of granular filters: Discussion. Canadian Geotechnical Journal, 23(3): 418–420. doi: <https://doi.org/10.1139/t86-067>

- Skempton, A. W., ve Brogan, J. M. (1994). Experiments on piping in sandy gravels. *Geotechnique*, 44(3): 449-460. doi: <https://doi.org/10.1680/geot.1994.44.3.449>
- Terzaghi, K. (1939). Soil mechanics: a new chapter in engineering science. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, 12(7): 106-141.
- Topçu, S. (2020). İnce daneli zeminlerin farklı gerilme koşullarında içsel erozyon davranışının mukayeseli analizi (Doktora Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (1953). Filter experiments and design criteria. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Technical Memorandum, No. 3-360. Erişim adresi: <https://usace.contentdm.oclc.org/digital/api/collection/p266001coll1/id/2106/download>
- U.S. Bureau of Reclamation (USBR). (2019). IV-4. Internal erosion risks for embankments and foundations. Bureau of Reclamation U.S, Technical Report, 218 s. Erişim adresi: <https://www.usbr.gov/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/D6-InternalErosionRisksForEmbankmentsAndFoundationsWithAppendices.pdf>
- Wan, C. F., ve Fell, R. (2008). Assessing the potential of internal instability and suffusion in embankment dams and their foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134(3): 401-407. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2008\)134:3\(401\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2008)134:3(401))
- Zhang, L. M., ve Chen, Q. (2006). Seepage failure mechanism of the Gouhou rockfill dam during reservoir water infiltration. *Soils and Foundations*, 46(5): 557-568. doi: <https://doi.org/10.3208/sandf.46.557>

**GRAFİT TOZUNUN KAUCUK KARIŞIMLARIN ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**Ezgi ERBEK CÖMEZ<sup>1</sup>, Halit Levent HOŞGÜN<sup>2\*</sup>, Selda ÖZTÜRK<sup>3</sup><sup>1</sup> Haksan Otomotiv Mam. San. Ve Tic. A.Ş., BURSA, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-6283-6960><sup>2</sup> Bursa Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, BURSA, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-6699-666X><sup>3</sup> Haksan Otomotiv Mam. San. Ve Tic. A.Ş., BURSA, ORCID No : : <https://orcid.org/0000-0002-4719-790X>

Anahtar Kelimeler	Öz
Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) Mekanik Özellikler Vulkanizasyon Grafit	<i>Kauçuk ürünler vulkanizasyonun keşfedilmesiyle beraber günümüzde farklı alanlarda sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Bu ürünler beyaz eşya, otomotiv, uçak ve roket sanayi, inşaat ve demir yolu gibi sektörlerde değerli yere sahiptirler. Kauçuk ürünlerin fazla kullanımı kauçuk çeşitliliğinin önemini de arttırmaktadır. Her kauçuk tipinin kendine has özellikleri bulunmaktadır ve kullanım yerlerine göre özel katkı malzemeleri ilaveleriyle bu özellikler daha da geliştirilebilmektedirler. Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) kauçuğu kendine has özelliklerinden dolayı tercih edilen kauçuklar arasındadır ve özel katkı malzemeleri kullanılarak yetersiz yönlerinin geliştirilebilmesi mümkün bir kauçuk türüdür. Bu çalışmanın amacı EPDM karışımına toz grafit katkı malzemesinin ilavesi ile mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesidir. Bunun için çalışma kapsamında iki farklı türde kauçuk karışımları oluşturulmuştur. Karışım reçetelerine özel katkı malzemesi olarak toz grafit (EPDM GP) 10 phr oranında eklenmiş, saf karışım reçetesiyle (EPDM 0) reolojik ve mekanik değerleri karşılaştırılmıştır. Kauçuk karışımlarının reolojik değerleri, viskoziteleri, sertlikleri, modül değerleri, kopma mukavemetleri, uzama miktarları, yoğunlukları, külleri, yanma davranışları ve çapraz bağ yoğunlukları analiz edilmiştir. Grafit katkısının kauçuğun mekanik değerlerine olumlu etki ettiği belirlenmiştir. Grafitin karışıma katılmasıyla kauçuk karışımın yanma eğiliminin arttırdığı görülmektedir. Bununla birlikte kauçuk karışıma grafitin eklenmesi çapraz bağ yoğunluklarını (CLD) da arttırmaktadır.</i>

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF GRAPHITE POWDER ON RUBBER COMPOUNDS**

Keywords	Abstract
Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM) Mechanical Properties Vulcanization Graphite	<i>Rubber products have been widely used in different fields since the discovery of vulcanization. These products have significant value in sectors such as appliances, automotive, aviation and aerospace, construction, and railways. The extensive use of rubber products increases the importance of rubber diversity. Each type of rubber has unique characteristics, and these properties can be further enhanced by adding special additives based on their specific applications. Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM) rubber is one of the preferred types of rubber due to its distinctive properties, and it can be improved in its weak aspects by using special additives. The aim of this study is to investigate the effect of adding graphite powder to EPDM rubber compounds on their mechanical properties. Two different types of rubber compounds were prepared within the scope of the study. Graphite powder (EPDM GP) was added to the compound recipes at a ratio of 10 phr as a special additive, and the rheological and mechanical values were compared with the pure compound recipe (EPDM 0). The rheological properties, viscosity, hardness, modulus, tensile strength, elongation, density, ash content, combustion behavior, and cross-link density of the rubber compounds were analyzed. It was determined that the addition of graphite had a positive effect on the mechanical properties of the rubber. The incorporation of graphite into the compound increased the tendency of the rubber compound to burn. Additionally, adding graphite to the rubber compound also increased the cross-link density (CLD).</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 19.09.2023

Submission Date : 19.09.2023

Kabul Tarihi : 29.12.2023

Accepted Date : 29.12.2023

\* Sorumlu yazar : [hlevent.hosgun@btu.edu.tr](mailto:hlevent.hosgun@btu.edu.tr)<https://doi.org/10.31796/ogummf.1362839>Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Giriş

Kauçuk ürünler kolay işlenebilme, aşınmaya karşı kuvvetli dayanım, yüksek esneklik, düşük deformasyon, düşük yayılma, yüksek yırtılma dayanımı gibi özelliklere sahiptir. Aynı zamanda polar çözücülere karşı da dayanıklıdır (Akyüz, 2020). Kauçuk malzemeler sahip oldukları özellikler sayesinde farklı endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Örneğin, otomotiv endüstrisinde; araç lastiklerinin, alçak basınç hortumlarının, araba gövde bağlantılarının ana bileşeni kauçuk malzemedir. Kauçuk malzemeler, fiziksel ve kimyasal özellikleriyle artık günümüzün vazgeçilmez bir mühendislik malzemesi olmuştur (Boşnak, 2010).

Kauçuk malzemelerin fonksiyon alanındaki performansını birçok faktör etkilemektedir. Bunlardan biri kauçuk karışımları içerisinde kullanılan hammaddelerdir. Kauçuk karışımı, kauçuk ve diğer hammaddeler ile katkı maddelerinden oluşan, vulkanize edilebilen bir karışımdır. Kauçuk karışımları içerisinde kauçuk ana kalem oluşturmakta ancak kauçuğun dışında birçok hammadde de bulunmaktadır. Bu hammaddelerin büyük bir bölümünü dolgu maddeleri oluşturmaktadır. Dolgu maddelerinin, kauçuk karışımının özelliklerine etkileri, başlıca iki özelliğinin ölçülmesi ile izlenmektedir. Bu özellikler, kopma dayanımı ve modül değerleridir. Kauçuğun modül değeri ne kadar yüksek ise, kauçuğun kopma dayanımında bir o kadar çok enerjiye ihtiyaç duyulacaktır (Saraç, 2013). Bu dolgu maddelerinin yanı sıra karışımın özelliklerini iyileştirmek için özel katkı malzemeleri de kullanılabilir. Kauçuk malzemeler hidrokarbon içerikli olduklarından dolayı yanma eğilimleri çok yüksektir. Günümüzde sanayileşmenin artmasıyla birlikte nüfusun da artması yangın riskleri de arttırmış, dolayısıyla da alev geciktirici ürünlerin kullanımına ihtiyaç olmuştur (Katircioğlu, 2018). Bu bakımdan alev geciktirici malzemeler de özel katkı malzemesi olarak günümüzde kullanılabilir.

Kauçuk karışımlarında kullanılabilen bir diğer özel katkı malzemesi de grafitir. Grafit yaygın olarak kullanılan bir katı yağlayıcıdır. Grafit doğada bol miktarda bulunabilir ve iletken polimer kompozitlerin hazırlanmasında iletkenlik artırıcı bir dolgu maddesi olarak kullanılır. Ayrıca grafit katkılı kauçuk karışımlarının düşük kalıcı deformasyona sahip olduğu bilinmektedir (İsmail ve Khalaf, 2010).

Bu çalışmada kauçuk karışımında Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) kullanılarak 2 ayrı çeşit kauçuk karışım oluşturulmuştur. Bu karışımlar;

- İçerisinde toz grafit olmayan kauçuk karışım (EPDM-0),
- İçerisine 10 per hundred rubber (phr) oranında toz grafit eklenmiş kauçuk karışımıdır (EPDM-GP).

Bu karışımların reolojik, mekanik özellikler, çapraz bağ yoğunlukları ve yanmazlık kriterleri incelenerek karşılaştırmaları yapılmıştır.

## 2. Bilimsel Yayın Taraması

İsmail ve Khalaf (2010), stiren butadien kauçuk/grafit tozu kompozitlerinin fiziksel, mekanik özelliklerini ve morfolojik davranışlarını incelemiştir. Çalışma dahilinde grafit tozunun ağırlık fraksiyonları ve partikül boyutları karşılaştırılmıştır. Karışım içerisinde kullanılan grafit miktarındaki artışın maksimum torku, kopma dayanımını arttırdığını buna karşı uzama miktarını azalttığı görülmüştür. Ayrıca grafitin tane boyutundaki küçülme kopma dayanımını arttırdığı ve denge şişme değerlerini azalttığı bulunmuştur. Dielektrik değerler de incelenmiş, artan grafit içeriği ile beraber dielektrik kaybı ve geçirgenlik değerlerinin arttığı bulunmuştur (İsmail ve Khalaf, 2010).

Alam ve arkadaşları (2022), doğal kauçukta silika ve grafit tozunun dağılım ve güçlendirme davranışları incelemiştir. Çalışma içeriğinde silika ve grafit karışım içerisinde farklı miktarlarda hem tek başına kullanılmış hem de bu iki dolgu malzemesi karışım olarak reçete içeriğinde denenmiştir. Sonuç olarak en kuvvetli sonuçların aynı oranında ikili karışımda sergilendiği bulunmuştur. %100 modül değerinin %110, kopma dayanımı değerlerinin %15 arttığı görülmüştür ve tek başına kullanılan dolgu sistemlere kıyasla daha kuvvetli yaşlandırma direnci ve mekanik özellikler sergilediği görülmüştür. Ayrıca karışımın çok kuvvetli dolgu dispersiyonuna sahip olduğu görülmüştür (Alam, Kumar, Potiyaraj, Lee ve Choi, 2022).

Yang ve arkadaşları (2006), farklı form ve boyutta 4 farklı özelliklerdeki grafit tozunun 20, 40 ve 60 phr miktarlarında akrilonitril butadien kauçuğa ilavesiyle elde edilen karışımların özelliklerini araştırmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi sonucunda genişletilmiş grafitin kauçuk ile disperse olmadığı ve homojen olarak küçük parçalara ayrılmadığı görülmüştür. Kopma dayanımının beklenildiği üzere en küçük boyuta sahip grafitte olduğu görülmüştür. Grafit tozunun karışım içerisindeki oranının artmasıyla kauçuğun tribolojik özellikleri de iyileşmiştir. En büyük parçacık boyutuna sahip grafit tozu ile yapılan karışım en düşük sürtünme katsayısını ve en iyi aşınma değerini vermiştir (Yang, Tian, Jia, Zhang ve Li, 2006).

Mansour ve arkadaşları (2010), Akrilonitril butadien kauçuk (NBR) ve polivinil klorür (PVC) karışımlarının termal iletkenlik, termal yayılım ve özgül ısı kapasitelerini ölçmüşlerdir. Grafit tozunun NBR ve PVC (70/30) karışım içeriğine eklenmesi karışımın termal özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Elde edilen karışımlardan hazırlanan test numunelerinin ısı iletkenlik değerleri de Maxwell-Eucken, Cheng-Vachon, Lewis-Nielsen, geometrik ortalama ve Agari-Uno modellerine göre araştırılmış ve karşılaştırması yapılmıştır. Çalışma sonucunda Agari-Uno modeli ile

NBR/PVC (30/70)/grafit kompozitlerindeki tüm karışım oranları ve bütün grafit içerikleri için en etkili termal iletkenliği değeri verdiği görülmüştür (Mansour, Ghoury, Shalaan, Eraki ve Bary, 2010).

Obaid (2016), Stiren butadien (SBR) özelliklerini incelemek için %0-25 oranlarında grafit tozunu karışıma eklemiştir. Çalışma sonucunda grafit tozunun karışım içerisindeki miktarının artmasıyla sertliğin, kopma dayanımının, modül değerlerinin arttığı bulunmuştur. Ayrıca yapılan elektriksel iletkenlik testlerinde karışım içerisindeki grafit miktarının artmasıyla beraber elektrik iletkenliğinin arttığı görülmüştür (Obaid, 2016).

### 3. Yöntem

#### 3.1. Hammaddeler

EPDM kauçuk için Arlanxeo firmasından tedarik edilen Keltan 6471 kauçuğu çalışmalarda kullanılmıştır. Dolgu malzemelerinden karbon siyahı için FEF N-550 ve Grafit kullanılmıştır. FEF N-550 Orion firmasından temin edilmiştir. ThermoFisher Scientific markaya sahip toz grafit malzemesi Bursa Teknik Kimya firmasından alınmıştır. Karışım reçetelerinde aktivatör görevinde aktif çinko oksit (ZnO) ve stearik asit kullanılmıştır. Çinko oksit oranı %95 olan aktif çinko oksit kullanılmış ve Melos firmasından tedarik edilmiştir. Stearik asit olarak ise Werba chemical firmasından temin edilen Werbablend FA 10 kullanılmıştır. Proses kolaylaştırıcı olarak Lotte firmasından PEG 4000 (polietilen glikol-4000), kaydırıcı özelliğin artırılabilmesi için Özşahin firmasından doymuş yağ asitleri ve sabunları karışımı olarak belirtilen Struktol EM-16 kimyasalı kullanılmıştır. Karışım içerisinde yumuşatıcı olarak EPDM ile uyumlu olan parafinik yağ kullanılmıştır ve yağ Petrol Ofisi firmasından tedarik edilmiştir. Kükürt (S-80) Mixland firmasından tedarik edilmiştir. Tüm reçetelerde hızlandırıcı grubunda kullanılan Çinko bis (dibenzilditiokarbamat) (ZBEC), N-Tersiyer Bütil 1-2-Benzotiyazol Sülfenamid (TBBS) ve 2,2'-Ditiobisbenzotiyazol disülfür (MBTS) Mixland firmasından tedarik edilmiştir.

Çalışma kapsamında iki farklı kauçuk reçetesi hazırlanmıştır. Hiçbir özel katkı malzemesi eklenmemiş karışıma EPDM 0, toz grafit malzemesi eklenmiş karışıma EPDM GP kısaltma isimleri verilmiştir. Reçete içerikleri Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. Karışım Reçeteleri

Hammadde	EPDM 0 Miktar (phr)	EPDM GP Miktar (phr)
Keltan 6471	115	115
Fef N-550	120	120
Grafit	0	10
Aktif Çinko	3,50	3,50
Stearik Asit	1	1
PEG 4000	5	5
StruktolEM 16	2	2
Promet 46	120	120
ZBEC	2	2
TBBS	2	2
MBTS	1,80	1,80
S-80	1,50	1,50

#### 3.2. Karışımın Hazırlanması

Tüm karışımlar 3L ölçeğinde laboratuvar tipi banbury ve mil (Werner Pfeedener-Almanya) prototip makinelerinde yapılmıştır. Banbury'e ilk önce kauçuk matris atılmıştır. Kauçuğun parçalanması için 30-35 sn karışıma devam edilmiştir. Kauçuğun ardından karbon siyahı ve reçete içeriğinde varsa özel dolgu malzemesi (grafit) eklenmiştir. Hemen ardından kimyasal grubu (ZnO, Stearik Asit, PEG 4000, Struktol EM16) karışıma ilave edilip malzemelerin kauçukla karışması için 30-40 sn daha karışıma devam edilmiştir. Üstüne proses yağlayıcısı-parafinik yağ ilave edilmiştir. Bu şekilde karışım 4-5 dk daha karıştırılmıştır. Oluşan kauçuk karışımı üzerine 110 °C'de hızlandırıcı grubu (ZBEC, TBBS, MBTS) eklenerek karışım 120 °C'de açık mil'e indirilmiştir. Banburyden açık mile inen karışıma sonra kükürt ilave edilerek 5 dk süresince karıştırılmıştır.

Tüm karışımlar ISO 2393 normuna göre hazırlanmıştır.

#### 3.3. Test Plakalarının Hazırlanması

2, 3 ve 6 mm kalınlığa sahip test plakalarının elde edilmesi için karışım 170 °C 15 dk vulkanizasyona tabi tutulmuştur.

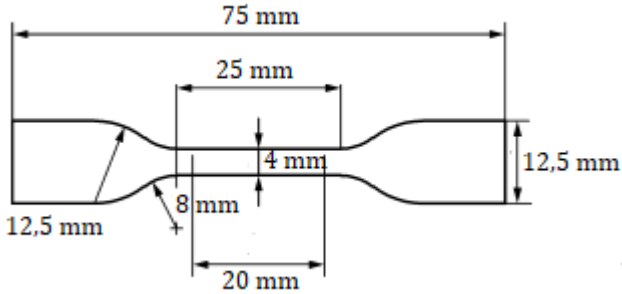
#### 3.4. Reolojik, Mekanik ve Yanmazlık Özelliklerin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında sertlik birimi olarak Shore-A (Sh-A) ölçeği kullanılmıştır. Sertlik tayini için ISO 48-4 standardı baz alınarak yapılmıştır. Kopma mukavemeti, uzama ve modül değerlerinin tayini DIN 53504 standardına göre yapılmıştır. Bu testler için Şekil 1 de gösterilen S2 ölçülerinde numuneler kullanılmış, bu ölçüleri elde edebilmek için 2 mm kalınlıktaki test plakasından numuneler kesilmiştir. Yoğunluk tayini Precisia marka test cihazı ile TS ISO 2781 şartnamesine

göre yapılmıştır. Çalışmada karışımların viskozite değerleri Ektron marka cihaz ile 1+4 kriterinde ve 125 °C de tayin edilmiştir. Karışımların içerisindeki inorganik madde miktarını hesaplamak için kül testleri TS ISO 247-1 şartnamesine göre yapılmıştır. Numunelerin çapraz bağ yoğunlukları (CLD) Flory-Rehner Denklem 1 kullanılarak ve ASTM D6814-02 standardına göre hesaplanmıştır. Karışımların reolojik özellikleri ise Alpha MDR 2000 cihazında belirlenmiştir. Vulkanizasyon kriterleri olarak 190 °C 2dk baz alınmıştır. Yanma dayanımlarının tayini için yatay yanma baz alınarak ASTM D635 standardına göre testler gerçekleştirilmiştir. Sertlik tayini, kopma mukavemeti, uzama ve modül değerlerinin tayini, kül ve yoğunluk tayini için testler üç ayrı test numunesi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Viskozite tayini, çapraz bağ yoğunluğu tayini, reolojik özelliklerin tayini ve yanma dayanımları tayinleri için her test özelinde birer adet numune kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$$V_e = \frac{-[\ln(1-V_r) + V_r + X_1 V_r^2]}{[V_1(V_r^3 - V_r)/2]} \quad (1)$$

Burada  $V_e$  çapraz bağ yoğunluğu,  $V_r$  şişmiş numunenin hacim fraksiyonu,  $X_1$  polimer-çözücü etkileşim parametresi,  $V_1$  çözücünün molar hacmi'dir.



Şekil 1. DIN 53504 standardı S2 numune ölçüleri

## 4. Bulgular

### 4.1. Karışımların Reolojik Özellikleri ve Viskozite Değerleri

Karışımların reolojik sonuçları ve viskozite değerleri Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Reolojik özellikler ve viskozite değerleri

Karışım	MU (Mooney)	ML (lb-in)	MH (lb-in)	ts <sub>2</sub> (mm:ss)	t <sub>90</sub> (mm:ss)
EPDM 0	16,74	0,58	5,50	0:53	1:37
EPDM GP	15,77	0,56	5,58	0:55	1:38

## 4.2 Karışımların Mekanik Özellikleri

### 4.2.1 Sertlik, Kopma Mukavemeti, Uzama ve Modül Değerleri

EPDM 0, EPDM GP karışımların sertlik, kopma mukavemeti ve uzama değerleri Tablo 3'de, modül değerleri Tablo 4'te belirtilmiştir.

Tablo 3. Karışımların sertlik, kopma mukavemeti ve uzama değerleri

Karışım	Sertlik (Sh-A)	Kopma Muk. (MPa)	Uzama (%)
EPDM-0	54 ± 0,6	9,80 ± 0,2	542 ± 7,1
EPDM-GP	54 ± 0,6	11,40 ± 0,2	575 ± 6,8

Tablo 4. Karışımların modül değerleri

Karışım	%50 Modül (MPa)	%100 Modül (MPa)	%300 Modül (MPa)
EPDM-0	1,00 ± 0,3	1,70 ± 0,3	4,90 ± 0,2
EPDM-GP	1,10 ± 0,2	2,00 ± 0,2	5,80 ± 0,3

### 4.2.2. Kül ve Yoğunluk Değerleri

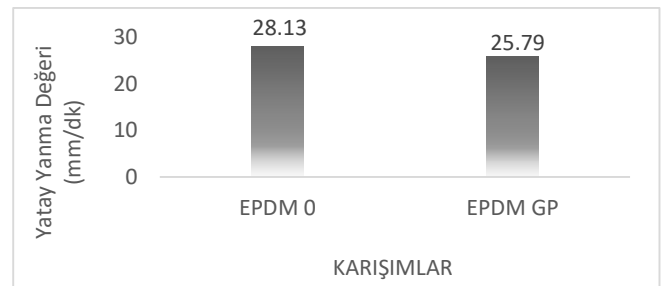
EPDM 0, EPDM GP karışımların yoğunluk ve kül değerleri Tablo 5'te belirtilmiştir.

Tablo 5. Karışımların yoğunluk ve kül değerleri

Karışım	Kül (%)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
EPDM 0	1,10 ± 0,02	1,07 ± 0,01
EPDM GP	1,10 ± 0,02	1,08 ± 0,01

### 4.2.3. Yanmazlık Değerleri

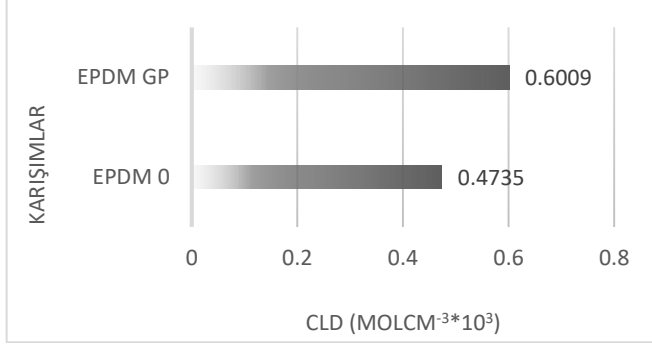
EPDM 0, EPDM GP karışımlara ait yatay yanma sonuçları Şekil 2'te belirtilmiştir.



Şekil 2. Yatay yanma test değerleri

#### 4.2.4. Çapraz Bağ Yoğunlukları

EPDM 0, EPDM GP karışımların CLD değerleri Şekil 3'de belirtilmiştir.



Şekil 3. Karışımlara ait çapraz bağ yoğunlukları

#### 5. Tartışma

Karışımların reolojik verilerinde bulunan ML değerleri ile viskozite tayini sonucu elde edilen viskozite değerleri birbirleriyle uyumlu çıkmıştır. ML değeri ve viskozite, grafit tozunun karışıma eklenmesiyle azalma göstermiştir. MH değeri vulkanizasyon eğrisinin stabil duruma geldiği durumda karışımın maksimum tork değeri olarak ifade edilmektedir. Grafit tozunun katılmasıyla karışımın tork değerinin yükseldiği görülmektedir. Bu durum toz grafitin karışımın kuvvet karşısında mukavemetini arttırdığını gösterebilmektedir. Vulkanizasyon sürelerine bakıldığında ise  $t_{s2}$  ve  $t_{90}$  sürelerinde az miktarda bir ötelenme olmuştur. Bu durum özellikle enjeksiyon prosesi ile çalışan üretimlerde, kullanılan karışımın kalıbın içerisine tamamen doldurulması konusunda olumlu bir etki yaratmaktadır.

Karışımların sertlikleri incelendiğinde EPDM 0, EPDM GP karışımlarının sertlikleri benzerdir. Bu durum ile grafit tozunun diğer aktif özellik taşıyan karbon katkılı malzemeler kadar sertliğe etki etmediği sonucu çıkarılabilmektedir.

Grafit tozunun eklenmesiyle karışımların kopma mukavemetleri ve uzama değerleri daha kuvvetli mekanik değerlere ulaştığı görülmektedir.

%50, %100 ve %300 modül değerleri incelendiğinde toz grafitin karışıma eklenmesiyle azda olsa bir yükselme görülmüştür. Elde edilen yüksek modül değerleri ise yapılan değişik ile çapraz bağlanmanın artması sonucunu çıkarabilmektedir.

Tüm karışımların kül miktarları aynı çıkmıştır. Bu veri 950 °C altında grafitin tamamen yandığı sonucunu çıkarabilmektedir. Yoğunluklar incelendiğinde karışıma toz grafit eklenmesiyle karışım içerisindeki dolgu miktarındaki artış görülmüştür.

EPDM 0 karışımı ile EPDM GP karışımının yanmazlık özellikleri karşılaştırıldığında yanmazlık değeri 28,13 mm/dk değerinden 25,79 mm/dk değerine düşmüştür. Bu değer alevin sönme hızını belirtmektedir. Grafit tozunun eklenmesiyle alev daha erken sömüştür bu da yanmazlık özelliğinin iyileştiğini göstermektedir.

Karışımların CLD değerleri incelendiğinde, karışıma toz grafitin katılmasıyla çapraz bağ yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Bu veri modül değerlerinde de ortaya çıkmıştır. EPDM 0 karışımının modül değerleri EPDM GP karışımının modül değerlerinden düşük bulunmuştur.

#### 6. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında kauçuk karışımlarına etkisini incelemek için özel katkı maddesi olarak grafit tozu karışıma katılmış, elde edilen karışımın özellikleri katkı ilavesiz karışım ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma için birçok sektörde kullanımı yaygın olan EPDM kauçuk seçilmiştir. EPDM kauçuk karışım üzerinde etkilerini gözlemlemek için EPDM baz reçetesi (EPDM 0) oluşturulmuş, bu reçeteye ek olarak toz grafit malzemesi 10 phr oranında eklenmiş reçete (EPDM GP) oluşturularak, karışımların reolojik, akış, mekanik özellikleri incelenmiştir.

Karışımların reolojik ve viskozite değerlerine bakıldığında toz grafitin hem reolojik verilere hem de viskozite değerine etki ettiği, reolojik değerlerin viskozite değerleri ile paralel sonuçlar verdiği görülmüştür.

Karışımların mekanik değerlerine bakıldığında iki karışımın sertlik değeri hariç diğer mekanik değerlere grafit tozunun etki ettiği görülmüştür. Çapraz bağ yoğunluğu değerleriyle modül değerlerindeki değişimler birbirini desteklediği belirlenmiştir.

Karışımların kül miktarları değişmezken, grafit tozu katılmasıyla yoğunlukta bir miktar yükselme yaşanmıştır.

Karışıma grafit tozunun katılması yanmazlık özelliğini olumlu etkilemiş, alevin daha erken sönmeye yardımcı olmuştur.

#### Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Ezgi ERBEK CÖMEZ, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin yönetilmesi, literatür çalışması, fikrinsel içeriğin belirlenmesi, veri toplama, veri analizi, testlerin gerçekleştirilmesi, makale taslağının oluşturulması, son onay ve tam sorumluluk; Halit Levent HOŞGÜN, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin yönetilmesi, literatür çalışması, fikrinsel içeriğin belirlenmesi, veri toplama, veri analizi, son onay ve tam sorumluluk; Selda ÖZTÜRK, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin yönetilmesi, fikrinsel içeriğin belirlenmesi, veri analizi, son onay ve tam sorumluluk konularında katkı sağlamıştır.



### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynaklar

- Akyüz, S. (2020). *Tabii Kauçuk NR / Stiren Bütadien Kauçuk (SBR) Esaslı Burçların Üretimi ve Test Yöntemleri* (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Alam, N., Kumar, V., Potiyaraj, P., Lee, D. & Choi, J. (2022). Mutual Dispersion of Graphite–Silica Binary Fillers and Its Effects on Curing, Mechanical, and Aging Properties of Natural Rubber Composites. *Polymer Bulletin*, 79, 2707–2724. doi: <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03608-x>
- Boşnak, B. (2010). *Kauçuktan Yarı Mamül Üretim Teknolojileri* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İsmail, M. N. & Khalaf, A. I. (2010). Styrene–Butadiene Rubber/Graphite Powder Composites: Rheometrical, Physicomechanical, and Morphological Properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 120, 298–304. doi: <https://doi.org/10.1002/APP.33101>
- Katircioğlu, D. (2018). Alev Geciktirici Mineral Dolgu Maddeleri. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(3) 1175-1179. doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.502401>
- Mansour, S., Ghoury, E., Shalaan, E., Eraki, M. & Bary, E. (2010). Thermal Properties of Graphite-Loaded Nitrile Rubber/ Poly(vinyl chloride) Blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 116, 3171–3177. doi: <https://doi.org/10.1002/app.31153>
- Obaid, M. N. (2016). Effect of Addition of Graphite on Some Properties of Styrene-Butadiene Rubber (SBR). *International Journal of Advance Research*, 4(1). ISSN 2320-9186.
- Saraç, S. (2013). *İnorganik Katkılı Kauçuk Malzemenin Özelliklerinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yang, J., Tian, M., Jia, Q., Zhang, L. & Li, X. (2006). Influence of Graphite Particle Size and Shape on the Properties of NBR. *Journal of Applied Polymer Science*, 102, 4007–4015. doi: <https://doi.org/10.1002/app.24844>

## BİR KALKER OCAĞINDA PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN FARKLI REGRESYON MODELLERİ İLE TAHMİN EDİLMESİ

Hakan AK<sup>1</sup>, Syamsul HIDAYAT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-5010-1382>

<sup>2</sup>Muhammadiyah Mataram Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Endonezya,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-9237-7902>

Anahtar Kelimeler	Öz
Patlatma Titreşim Çevresel Etkiler Çok Değişkenli Regresyon Analizi Ölçekli Mesafe	<i>İnşaat sektörüne hammadde sağlayan taş ve kalker ocakları genellikle maliyetleri en aza indirmek amacıyla şehirleşmenin yakın çevrelerinde yer almaktadır. Bu ocaklarda üretim yöntemi olarak yine ekonomik olması nedeniyle delme ve patlatma yöntemi tercih edilmektedir. Delme ve patlatma yöntemindeki teknolojik gelişmelere rağmen, bu yöntem ile kazı bazı çevresel olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Bu etkilerden olan titreşimler, jeolojik yapıya da bağlı olarak uzak mesafelerde de etkili olabilmesi nedeniyle oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Eskişehir ili sınırları içerisinde yer alan Yörükkaracaören köyü yakınında bulunan bir kalker ocağında yapılan patlatmalar bir adet titreşim ölçer cihazı ile izlenmiş ve toplam 31 adet titreşim olayı kaydedilmiştir. Kaydedilen bu olayların verileri daha sonra ölçekli mesafe ve çok değişkenli regresyon analizi tekniğine dayalı farklı titreşim tahmin modelleri uygulanarak istatistiksel analize tabi tutulmuştur. Yapılan bu istatistiksel analizler sonucunda, ölçekli mesafeye dayalı Roy eşitliğinin bu saha için en iyi tahmin modeli olduğu belirlenmiş ve titreşim tahminleri bu eşitlik ile yapılmıştır. Çalışmada ayrıca, çok değişkenli regresyon analizi yönteminin patlatma kaynaklı titreşimlerin tahmininde kullanılabilirliği ortaya konmuştur.</i>

## ESTIMATION OF BLASTING-INDUCED VIBRATIONS IN A LIMESTONE QUARRY WITH DIFFERENT REGRESSION MODELS

Keywords	Abstract
Blasting Vibration Environmental Effects Multivariate Regression Analysis Scaled Distance	<i>Stone and limestone quarries which provide raw materials to the construction industry are generally located in the immediate vicinity of urbanization in order to minimize costs. In these mines, the drilling and blasting method is preferred as the production method because it is economical. Despite technological advances in the drilling and blasting method, excavation with this method may cause some adverse environmental effects. Vibrations, one of these adverse effects, are very important because they can be effective over long distances, depending on the geological structure. In this study, blasting in a limestone quarry located near Yörükkaracaören village within the borders of Eskişehir province was monitored with a vibration monitor and a total of 31 vibration events were recorded. The data of these recorded events were then subjected to statistical analysis by applying different vibration prediction models based on scaled distance and multivariate regression analysis technique. As a result of these statistical analyses, the Roy equation based on scaled distance is determined to be the best prediction model for this field and vibrations are predicted by using this equation. This study also demonstrates the usability of the multivariate regression analysis method in predicting blast-induced vibrations.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 11.10.2023

Kabul Tarihi

: 18.03.2024

Research Article

Submission Date

: 11.10.2023

Accepted Date

: 18.03.2024

\* Sorumlu yazar: [hak@ogu.edu.tr](mailto:hak@ogu.edu.tr)

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1374427>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Giriş

Madencilik çalışmalarında örtü tabakasının veya cevherin kazısında delme ve patlatma teknolojisi kaçınılmaz olmaktadır. Gerek ekonomik faktörler gerekse zamandan tasarruf edilmesi bu teknolojinin geniş olarak kullanılmasına neden olmuştur. Bu kazanımlarının yanı sıra delme ve patlatma teknolojisi beraberinde birtakım çevresel problemlerin oluşmasına da sebebiyet verebilmektedir. Bu çevresel problemlerin en önemlisi ve daha uzak mesafelere taşınabilmesi nedeniyle titreşimler olmaktadır. 20. Yüzyıl ile birlikte belirli bir ivme kazanan kentleşme eğilimi, sanayileşme sürecinin de katkısı ile birlikte günümüzde daha da hızlanmıştır. Şehirler büyüdükçe bununla bağlantılı olarak hammadde ihtiyacını karşılamak amacıyla şehirlerin çevrelerinde giderek artan sayıda taş ve kalker ocakları açılmaya başlamıştır. Önceleri şehirden nispeten uzakta olan bu ocaklar şehirlerin genişlemesi ile giderek şehirlere yaklaşmıştır. Bu nedenle çevresel problemler ile ilgili şikâyetler de giderek artış göstermektedir.

Patlatma kaynaklı titreşimlerin büyüklüğünü belirlemede parçacık hızı değeri kullanılmaktadır. Parçacık hızı değerinin ölçülmesinde kullanılan sismograflar boyuna, düşey ve enine eksende ölçüm yapmaktadır. Bir sahada yapılan patlatmaların bir yerleşim yerine olan etkilerini değerlendirebilmek için o sahaya ait saha sabitlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunu yapabilmek için ise yapılan patlatmaların, yerleşim yerinin bulunduğu yöne doğru yerleştirilen sismograf cihazı ya da cihazları kullanarak izlenerek yeterli sayılarda parçacık hız değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra her bir patlatmaya ait basamak geometrisi parametreleri ile patlayıcı miktarları ile ilgili parametreler kayıt altına alınmalıdır. Sismograf ve atım noktası arasındaki mesafeleri belirleyebilmek için ise titreşim ölçüm istasyonlarının ve atım noktalarının koordinatları kayıt altına alınmalıdır. Genel olarak patlatma kaynaklı titreşimlerin hızını belirleyebilmek için gerekli olan iki temel parametre; atım yeri ve titreşim ölçüm cihazı arasındaki mesafe (D) ve gecikme aralığı başına kullanılan maksimum patlayıcı miktarı (W) olmaktadır. Araştırmacılar bu iki temel parametreyi kullanarak çeşitli ölçekli mesafe tanımları yaparak titreşim tahmininde regresyon analizi yöntemini önermişlerdir (Duval ve Petkof, 1959; Langefors ve Kihlström, 1963; Ambraseys ve Hendron, 1968; Hindistan Standartları, 1973; Roy, 1991). Sismograf cihazı ile kaydedilen parçacık hızı değeri ve ölçekli mesafe değeri kullanarak tek değişkenli regresyon analizi ile titreşimlerin tahmin denklemi üretilmektedir. Üretilen bu sahaya özgü denklemin katsayıları da o sahaya özgü arazi ve jeolojik sönümlenme katsayılarını vermektedir. Sahaya özgü üretilen regresyon denklemi kullanılarak ileriki zaman diliminde yapılacak olan patlatmaların çevredeki

yerleşim yerlerinde yapılar üzerindeki etkileri tahmin edilebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Eskişehir ili sınırları içerisinde bulunan bir kalker ocağında yapılan üretim patlatmalarının, sahaya en yakın yerleşim yerleri olan Yörükkaracaören köyüne titreşim etkilerini doğru olarak tahmin edebilmektir. Bunu yapabilmek için geleneksel ölçekli mesafe kavramına dayalı bazı eşitlikler ve çok değişkenli regresyon analizi yöntemi kullanılarak yeni tahmin modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen tahmin modellerinin performanslarının belirlenmesi için farklı istatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır. Değerlendirme sonucunda ölçekli mesafeye dayalı eşitlikler içinde en iyi tahmin yapan eşitlik ve çok değişkenli regresyon modeli yardımıyla en yakın yerleşim yerindeki titreşim seviyeleri tahmin edilmiştir. Böylece bu saha için en uygun tahmin denklemleri belirlenerek, ileriki dönemlerde kalker ocağı sınırları genişleyip köye olan mesafe azaldığı durumda, ya da gerek gecikme aralığı başına kullanılan patlayıcı miktarlarındaki gerekse diğer bağımsız değişkenlerdeki değişimler söz konusu olduğunda titreşim etkilerinin gerçek değerlere en yakın şekilde tahmin edilmesi mümkün olabilecektir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Çalışma sahasında yapılan patlatmaların oluşturacağı titreşimlerin olumsuz etkilerinin gözlenebileceği en yakın yerleşim yeri Yörükkaracaören köyüdür. Bu nedenle patlatma kaynaklı titreşim kayıtları White Seis II titreşim ölçer cihazı yardımıyla köy yönünde alınmıştır. Bunun yanı sıra tüm basamak geometrisi parametreleri özenle ölçülmüştür. Özellikle basamak yüksekliği, delikler arası mesafe, dilim mesafesi gibi bazı önemli parametreler bir drone yardımıyla çekilen ölçekli fotoğraflar üzerinden belirlenmiş ve her bir patlatma için ortalama değerleri kullanılmıştır. Çalışmada gerek verilerin toplanması ve gerekse istatistiksel çalışmaların ortaya konulması aşamasında araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Çalışma sahasında yapılan patlatmaların, özellikle ocağa en yakın yerleşim yeri olan Yörükkaracaören köyünde muhtemel oluşturacağı titreşimlerin en doğru şekilde tahmin edilmesi planlanmıştır. Bu amaçla öncelikle geleneksel ölçekli mesafeye dayalı ve oldukça yaygın olarak kullanılan eşitlikler kullanılarak sahaya özgü sönümlenme parametreleri ve dolayısıyla yayılım eşitliği belirlenecektir. Çok pratik olması nedeniyle ölçekli mesafeye dayalı eşitlikler ile titreşim tahminleri konusunda birçok araştırmacı çalışmalar yapmıştır (Kahriman, A., Özer, U., Aksoy, M., Karadoğan, A., Tuncer G., 2006; Ak, H. ve Konuk, A., 2008; Ak, H., Iphar, M., Yavuz, M., Konuk, A., 2009; Erarslan, K., Uysal, Ö., Arpaz, E., Cebi, M.A., 2008; Karakuş, 2010; Karadoğan, A., Özer, Ü., Kahriman, A., 2012; Aksoy ve Kahriman, 2014; Kalaycı ve Özyurt, 2014; Özer, Karadoğan, 2014;

Hüdaverdi ve Akyıldız, 2018; Ongen, T., Karakuş, D., Konak, G., Onur, A.H., 2018; Agrawal H, ve Mishra A.K., 2019; Paswan, R.K., Roy, M.P., Shankar, R., Singh, P.K., 2021). Patlatma kaynaklı üretilen yer sarsıntılarının toplam enerjisinin, gecikme aralığı başına patlatılan en yüksek patlayıcı miktarı ve patlatma noktasına olan mesafeye göre doğrudan değiştiği varsayımına dayalı olarak çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen ölçekli mesafeye dayalı denklemlerden bazıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ölçekli Mesafeye Dayalı En Yaygın Kullanılan Titreşim Tahmin Denklemleri

Araştırmacı	Denklem
(Duval ve Petkof, 1959)	$ppv = K \cdot [D/\sqrt{W}]^n$
(Langefors ve Kihlström, 1963)	$ppv = K \cdot [\sqrt{W}/D^{3/4}]^n$
(Ambraseys ve Hendron, 1968)	$ppv = K \cdot [D/W^{1/3}]^n$
(Hindistan Standartları, 1973)	$ppv = K \cdot [W/D^{2/3}]^n$
(Roy, 1991)	$ppv = n + K \cdot [\sqrt{W}/D]$

Bu tahmin denklemlerinde kullanılan ppv; ölçülen maksimum parçacık titreşim hızını (mm/sn), D; patlatma noktası ve titreşim ölçüm istasyonu arasındaki mesafeyi (m), W ise gecikme aralığı başına kullanılan en yüksek patlayıcı miktarını (kg) ifade etmektedir. Denklemler içerisinde parantez içinde kalan kısımlar her bir denkleme ait ölçeklendirilmiş mesafeyi ifade etmektedir. Ayrıca, bu genel tahmin eşitliklerindeki K ve n katsayıları ise sahaya özgü arazi sabitlerini ifade etmektedir. Bu saha sabitleri yapılan her bir patlatmanın titreşim ölçüm cihazları ile farklı mesafelerden izlenmesinden sonra yapılan istatistiksel analizlerden elde edilmektedir.

Patlatma kaynaklı titreşimleri etkilediği bilinen atım parametrelerinin kullanıldığı, farklı analiz tekniklerinden oluşan birçok çalışma söz konusudur (Liang, Q., An, Y., Zhao, L., Li, D., Yan, L., 2011; Hüdaverdi, 2012; Hüdaverdi, 2015; Chandar, K.R., Sastry, V.R. ve Hegde, C., 2017). Bu çalışmada diğer tahmin yöntemi olarak patlatma parametrelerine bağlı çok değişkenli regresyon analizi yöntemi kullanılarak alternatif bir titreşim tahmin denklemi geliştirilmiştir. Yapılan çok değişkenli regresyon analizinde doğrudan rastgele çok sayıda tahmin değişkenleri seçerek model oluşturmadan önce adimsal regresyon analizi yardımıyla değişkendeki değişimi en fazla açıklayan tahmin değişkeni veya değişkenleri belirlenmiştir.

Adimsal regresyon analizi yönteminde değişkenlerin modelde yer alabilmesi için öncelikle yeterli anlamlılık seviyesine olup olmadığı belirlenir. Daha sonra değişkenler modele sırayla eklenerek modelde kullanılıp kullanılmayacağına yine anlamlılık değerine göre kara verilmektedir. Belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) en iyi çoklu regresyon modelinin belirlenmesinde önemli bir yeterlilik ölçütüdür (Konuk, A., Aksoy, M., Ak, H., 2021).

Daha sonra çalışmada farklı regresyon modelleri oluşturularak geliştirilen tahmin eşitliklerinin performansı istatistiksel yöntemler kullanılarak karşılaştırılmış ve yöntemlerden en iyi tahminci eşitlik ile sahaya en yakın yerleşim yeri için titreşim tahminleri yapılmış ve aşağıda detayları verilmiştir.

### 3. Çalışma Sahası

Çalışma yeri, Eskisehir ili, Merkez ilçesi, Yörükkaracaören Köyü yakınlarında bulunan Selka Mad. İnş. Yapı Malz. Tic. ve San. Ltd. Şti. adına kayıtlı İR.200702379 İşletme Ruhsatlı kalker ocağı sahasıdır. Çalışma sahası Eskişehir ilinin doğusunda, Yörükkaracaören köyünün yaklaşık 1 km güney batısında yer almaktadır. Çalışma sahası Eskişehir merkezine yaklaşık 26 km uzaklıkta bulunmaktadır (Şekil 1). Köy ve ocağın genel çevresi engebeli ve kıraç bir arazi yapısına sahiptir.



Şekil 1. Çalışma Sahası ve Yörükkaracaören Köyü Google Earth Görüntüsü

Çalışma sahasında, kalker üretimi gerçekleştirilmekte olup, üretim delme ve patlatma yöntemi ile yapılmaktadır. Delme ve patlatma yöntemi kullanılarak sahada parçalanmış kalker cevheri kamyonlara yüklenerek kırma eleme tesisine nakledilmektedir. Tesis alanından stok alanına taşınan kalker daha sonra hazır beton santraline sevk edilerek inşaat-karayolu v.b. hammadde ihtiyacı için değerlendirilmektedir.

#### 3.1. Çalışma Sahası Jeolojisi

Çalışma sahası civarında bulunan Yörükkaracaören Granodiyoriti, Tekke Tepe güneyindeki ofiyolit birimlerini keserek yüzeylenmiştir. Bu birim çoğunlukla porfiri ve nadiren ise taneli dokulu olup, arazi topoğrafyasına uygun bir morfolojik yapı göstermektedir. Sahadaki kayalar ileri derecede alterasyon göstermektedir. Feldspatlar genel olarak killeşmiş ve serisitleşmiş bir yapıdadır. Epidot gelişmelerine de rastlanmakta olup, kirli sarı ve açık gri renkte görünüme sahiptirler. Yörükkaracaören Granodiyoriti Üst Kretase yaşlı olup, metamorfizmaya uğramış kayalarla olan sınırlarında skarn zonları

oluşturmuştur (Gözler, M., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, H., 1997; Purtul, 2019).

### 3.2. Ölçümler

Titreşim ölçümlerinin gerçekleştirildiği Selka şirketine ait kalker ocağındaki patlatma yapılan bölgede, kayacın yoğunluğu  $2,7 \text{ gr/cm}^3$  olup mohs sertlik değeri 4 civarındadır. Kayacın ortalama porozitesi %0,2'dir. Patlatma yapılan sahada kayacın ortalama basınç direnci  $1019 \text{ kgf/cm}^2$ , ortalama çekme direnci  $64 \text{ kgf/cm}^2$  olup elastisite modülü  $6,91 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ 'dir (Odak; 2011).

Çalışma sahasında kayaç birimi ocağın farklı noktalarında az da olsa değişimler göstermekle birlikte genel anlamda benzerlikler taşımaktadır. Ocak üst basamaklarında genelde gevşek kayaç tabakaları söz konusu olurken alt basamaklarda daha sağlam kayaç tabakaları gözlenmektedir. Ocakta yapılan toplam 31 atıma ait tasarım parametreleri patlatma öncesinde titizlikle kayıt edilmiştir. Özellikle dilim mesafesi, delikler arası mesafe ve basamak yüksekliği parametreleri bir drone yardımıyla ölçekli çekilen fotoğraflar üzerinden hesaplanmış ve ortalama değerleri kullanılmıştır. Sahada 4 farklı basamak kotunda yapılan patlatmalara ait tasarım parametreleri ile ilgili tanımlayıcı istatistikler Tablo 2'de, kayıt edilen titreşim değerleri ile ilgili istatistikler ise Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Tasarım parametreleri tanımlayıcı istatistikleri

Değişken	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Delik Sayısı (n, adet)	8	72	34,2	15,5
Dilim Mesafesi (B, m)	1,7	3,7	2,33	0,473
Delik Aralığı (S, m)	1,6	4,6	2,48	0,572
Sıkılama Yüks. (hs, m)	2	4	3,01	0,394
Taban Payı (U, m)	0,7	1	0,95	0,090
Delik Uzunluğu (H, m)	4,7	15	10,55	2,809
Basamak Yüks. (L, m)	4	14	9,60	2,730
Sıra Sayısı (adet)	1	11	3,64	1,98
Özgül Şarj ( $\text{kg/m}^3$ )	0,293	1,485	0,95	0,274

Tablo 3. Titreşim Ölçüm Verileri İstatistikleri

Değişken	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Gecikme Başına Maksimum Şarj Miktarı (W, kg)	29	130	63	23,32
Titreşim Ölçüm Mesafesi (D, m)	62	709	289	150
Maksimum Parçacık Hızı (PPV, mm/sn)	1,016	20,066	5,93	5,489
PPV Frekans (Hz)	4,5	30,1	10,19	5,386

Tablo 2'de görüldüğü gibi patlatma faaliyetleri düşük ve orta basamak yüksekliklerinde dolayısıyla farklı delik uzunluklarında ve 8 ila 72 delik sayısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Patlatmalarda delik sıra sayıları değişkenlik göstermektedir. Atımların 16 tanesi 1,2 ve 3

sıralı, 14 tanesi 4, 5 ve 6 sıralı olup 1 atım ise 11 sıralı olarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'de ise patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin oldukça geniş bir mesafe aralığında kayıt edilmiş olduğu görülmektedir. Ayrıca, gecikme başına şarj miktarlarının, gerek delik boylarından kaynaklı gerekse gecikme tasarımından kaynaklı nedenlerle yine geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir.

Patlatma delikleri çapı tüm atımlarda 89 mm olarak kullanılmıştır. Ana şarj olarak ANFO ve suya dayanıklı kartuş emülsiyon patlayıcılar kullanılmıştır. Taban zorluğunu aşmak için detonasyon basıncı daha yüksek olan emülsiyon patlayıcılar 3-6 adet civarında olacak şekilde yemleyici üzerinde delik taban kısmında kullanılmış ve daha sonra sıkılama kısmına kadar ANFO şarjı yapılmıştır. Yemleyici olarak 1 kg ağırlığa sahip emülsiyon patlayıcılar tercih edilmiştir. Yemleyici dinamitlerin ateşlenmesinde elektriksiz ateşleme sistemi kullanılmıştır. Gecikme tasarımları genel olarak delikler arası 17 milisaniye, sıralar arası ise 42 milisaniye olacak şekilde planlanmıştır. Patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin ölçülmesinde ise WhiteSeis II model titreşim ölçer cihaz kullanılmıştır.

## 4. İki Farklı Yöntem Kullanarak Sahaya Özgü Titreşim Tahmin Denklemi Geliştirme

### 4.1. Ölçekli Mesafe Kullanan Geleneksel Modeller ile Sahaya Özgü Tahmin Yaklaşımı

Geleneksel patlatma kaynaklı titreşim denklemlerinde bulunan ölçekli mesafe (SD); mesafe (D) ve gecikme aralığı başına maksimum kullanılan şarj miktarı (W) gözetilerek yapılır. Bu bölümde, farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olan ve Tablo 1'de verilen geleneksel ölçekli mesafeye dayalı denklemler kullanılmıştır. Çalışma sahasında yapılan 31 adet patlatma olayında, farklı mesafelerden 31 adet titreşim kaydı ölçülmüştür. Ayrıca her bir patlatma olayındaki D ve W değerleri de titizlikle ölçülmüştür. Kayıt altına alınan bu verilerden yararlanılarak farklı yayılım eşitlikleri ile regresyon analizleri yapılmış ve her bir denkleme ait arazi katsayıları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Ölçekli Mesafeye Dayalı Eşitliklerin Sahaya Özgü Arazi ve İlişki Katsayıları

Denklem	K	n	R <sup>2</sup>	R
Duval-Petkof	398,65	-1,319	0,6869	0,8288
Langefors-Kihlström	142,77	1,696	0,6576	0,8109
Ambraseys-Hendron	1074,2	-1,341	0,7040	0,8390
Hindistan Standartları	2,42	1,293	0,4284	0,6545
Roy	200,01	-1,3013	0,6834	0,8267

Tablo 4'de görüldüğü gibi, beş denklem içerisinde üç tanesinin belirlilik katsayısı (R<sup>2</sup>) birbirine yakın sonuçlar verirken en yüksek belirlilik katsayısı Ambraseys-Hendron denkleminde elde edilmiştir. Daha sonra sırasıyla Duval-Petkof ve Roy eşitliği

gelmektedir. En kötü sonuç ise Hindistan Standartları eşitliği ile elde edilmiştir. Bu tür analizler sonucunda doğrudan belirlilik ve korelasyon katsayısına bakarak en iyi tahmin yapan eşitlik olduğuna karar vermek hatalı sonuçlara sebep olabilir. Bu nedenle ileriki bölümlerde her bir yayılım eşitliğinin tahmin performansı da değerlendirilecektir.

#### 4.2. Çok Değişkenli Regresyon Analizi ile Sahaya Özgün Tahmin Yaklaşımı

Patlatma sahasına özgü geliştirilmesi düşünülen denklemde, öncelikle titreşim seviyelerini etkilemesi muhtemel olan patlatma parametreleri belirlenmiştir. Çok değişkenli regresyon analizi için belirlenen bu parametrelerden maksimum parçacık hızı (ppv) bağımlı değişken olarak seçilmiştir. Patlatma yeri ve ölçüm istasyonu arası mesafe (D), gecikme aralığı başına kullanılan maksimum şarj miktarı (W), dilim mesafesi (B), delikler arası mesafe (S), delik sıkılama yüksekliği (hs), delik uzunluğu (H), delik taban payı (U) ve son olarak özgül şarj miktarı (q) bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.

Çok değişkenli regresyon modeli belirlenirken, parametrelerinin doğrudan modele dâhil edilmesi hatalı sonuçlara sebep olabileceğinden adimsal regresyon modeli yöntemi kullanılmıştır. Böylece, titreşim seviyelerini en çok etkileyen ve anlamlılık açısından açıklayan parametreler belirlenecek ve sırayla modele dâhil edilecektir. Bu çalışmada, SPSS yazılımı kullanılarak çok değişkenli adimsal regresyon modeli geliştirilmiş ve model sonuçları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Çok Değişkenli Adimsal Regresyon Modeli Özeti

Model	R	R <sup>2</sup>	Ayarlanmış R <sup>2</sup>	Tahmin standart hatası
1	0,701 <sup>a</sup>	0,492	0,474	3,9795
2	0,758 <sup>b</sup>	0,575	0,544	3,7054
3	0,798 <sup>c</sup>	0,637	0,597	3,4847

a. Bağımsız değişkenler: (Sabit), D

b. Bağımsız değişkenler: (Sabit), D, hs

c. Bağımsız değişkenler: (Sabit), D, hs, H

Tablo 5'de görüldüğü gibi, adimsal regresyon modeli yardımıyla maksimum parçacık hızı ile en yüksek kısmi korelasyona sahip olan parametreler sırasıyla D, hs ve H olarak belirlenmiştir. İlk adımda D modele dâhil olmuş ve R<sup>2</sup> değeri 0,492 olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada modele hs de dâhil olmuş ve R<sup>2</sup> 0,575 değerine yükselmiştir. Son olarak modele H de dâhil olmuş ve R<sup>2</sup> değeri 0,637 olarak belirlenmiştir. Yapılan F testi sonucunda diğer bağımsız değişkenlerin anlamlılık seviyeleri 0,05'in üzerinde olduğundan modele dâhil edilmemiştir. Başka bir ifadeyle titreşim hızı değerleri ile diğer bağımsız değişkenler arasında lineer ilişki olduğunu öne süren hipotez %5 anlamlılık düzeyinde reddedilir. Tablo 6'da çok değişkenli adimsal regresyon modelinin varyans analizi sonuçları verilmiştir.

Tablo 6. Çok Değişkenli Adimsal Regresyon Modeli Varyans Analizi

Model	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
1	444.489	1	444.489	28.068	.000
	459.249	29	15.836		
	903.737	30			
2	519.300	2	259.650	18.911	.000
	384.438	28	13.730		
	903.737	30			
3	575.875	3	191.958	15.808	.000
	327.862	27	12.143		
	903.737	30			

Tablo 6'da, her üç modelin de anlamlı olduğu görülmektedir. Model 3'de diğer iki modelden daha yüksek belirlilik katsayısı değeri olduğundan bu model seçilmiştir. Buna göre model katsayılarına bağlı olarak çok değişkenli regresyon modeli Eşitlik 1'de verildiği gibi yazılmıştır.

$$ppv = -7,55 - 0,025D + 5,036hs + 0,502H \quad (1)$$

Ölçekli mesafeye dayalı denklemlerde daima kullanılan gecikme başına maksimum şarj miktarının (W) çok değişkenli regresyon modelinde (Eşitlik 1) yer almaması dikkat çekicidir. Bu sahaya uygun belirlenen çok değişkenli regresyon modelinin performansı ölçekli mesafeye dayalı geliştirilen denklemler ile birlikte bir sonraki bölümde değerlendirilecektir.

#### 4.3. Tahmin Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, sahaya özgü geliştirilen geleneksel ölçekli mesafeyi kullanan yayılım eşitlikleri ile çok değişkenli regresyon analizinden elde edilen eşitliğin performansı değerlendirilmiştir. Eşitlikler kullanılarak hesaplanan titreşim değerleri ile kayıt edilen gerçek titreşim değerlerin karşılaştırılması için iki farklı hata ölçütü olan Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve Hataların Kareleri Ortalamasının Karekökü (HKOK) kullanılmıştır. Ayrıca Varyans Oranları Yüzdesi (VOY) ile modelin başarısı değerlendirilmiştir. OMH ve HKOK değerlerinin sıfıra yakın olması tahminlerin gerçek değerlere daha yakın olduğunu, VOY değerinin yüz değerine yakın olması ise modelin daha başarılı olduğunu göstermektedir. Gerçek ölçüm değerleri ve modeller kullanılarak yapılan tahminlerinin karşılaştırma parametreleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Regresyon Modellerinin Karşılaştırılması

Denklem	OMH	HKOK	VOY	R	a	b
Duval ve Petkof	2,28	1,51	80,95	0,804	18	4
Langefors ve Kihlström	2,34	1,53	79,95	0,792	17	3
Ambraseys ve Hendron	2,25	1,50	81,81	0,812	20	3
Hindistan Standartları	2,91	1,71	61,87	0,618	17	5
Roy	2,23	1,49	85,37	0,827	20	2
Çok Değişkenli Reg. Mod.	2,55	1,60	85,90	0,798	17	2

a: <2 mm/s'den daha az hata ile yapılan tahmin sayısı

b: >6 mm/s'den daha büyük hata ile yapılan tahmin sayısı

Buna göre; tüm modellerin OMH ve HKOK değerini kıyasladığımızda Roy modelinin en küçük hata indisi değerlerini verdiği görülmektedir. Ona en yakın hata indisi değerleri Ambraseys-Hendron modelinde olmuştur. En büyük hata indisi değerlerinin ise Hindistan Standartlarında olduğu görülmektedir. Çok değişkenli regresyon modeli ise en büyük hata indisleri içinde sondan ikinci olmuştur. Kısacası ölçekli mesafeye dayalı eşitlikler içerisinde en düşük OMH ve HKOK değerini Roy eşitliği vermektedir. VOY değerlerine göre karşılaştırma yapıldığında ise 100 değerine en yakın sonuçlar veren çok değişkenli regresyon modeli ve Roy eşitliği olmaktadır. Tahmin ve gerçek değerler arasındaki korelasyon (R) katsayıları incelendiğinde de en yüksek korelasyonu Roy eşitliğinin ( $R=0,827$ ) daha sonra ise Ambraseys-Hendron eşitliğinin ( $R=812$ ) verdiği görülmektedir. Çok değişkenli regresyon analizinde ise korelasyon katsayısı 0,798'de kalmıştır. Son olarak Tablo 7'de modeller içerisinde çok değişkenli regresyon denklemi ile yapılan tahminlerde 17 atım 2 mm/sn hız değerinden daha küçük bir hata ile tahmin edilirken, bu sayı Roy ve Ambraseys-Hendron eşitlikleri ile yapılan tahminlerde 20 olmuştur. Tablo 7'de ayrıca 6 mm/sn hız değerinden daha büyük hata ile yapılan tahmin sayıları da verilmiştir. Buna göre çok değişkenli regresyon denklemi ile yapılan tahminde 6 mm/sn değerinden daha büyük farkla hatalı tahmin sayısı 2 olurken, bu sayı Roy eşitliği ile yapılan tahminde 2, Ambraseys-Hendron eşitliğinde ise 3 olmuştur. Diğer modellerde bu sayı 4-5 arasında değişmektedir.

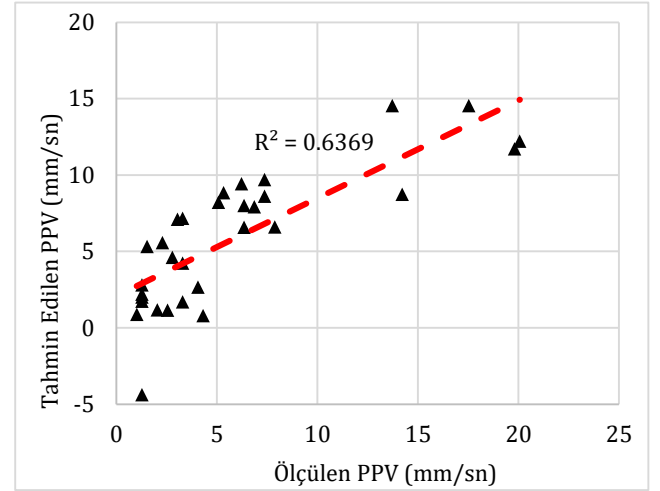
Tablo 7'de verilen hata indisleri, korelasyon katsayıları ve gerçeğe en yakın ve en uzak tahmin sayılarına göre yapılan karşılaştırma sonucunda; tüm modeller içerisinde en başarılı tahmin yapan modelin ölçekli mesafeye dayalı yayılım eşitliği olan Roy modeli olduğu görülmektedir. Tablo 7'de verilen bilgiler kıyaslandığında, çok değişkenli regresyon modelinin, Roy ve Ambraseys-Hendron modelinden sonra en iyi tahmin modeli olduğu söylenebilir. Sahaya özgü katsayıları belirlenen en başarılı tahmin modeli Roy yayılım modeli Eşitlik 2'de verilmiştir.

$$ppv = -1,3013 + 200,01[\sqrt{w}/D] \quad (2)$$

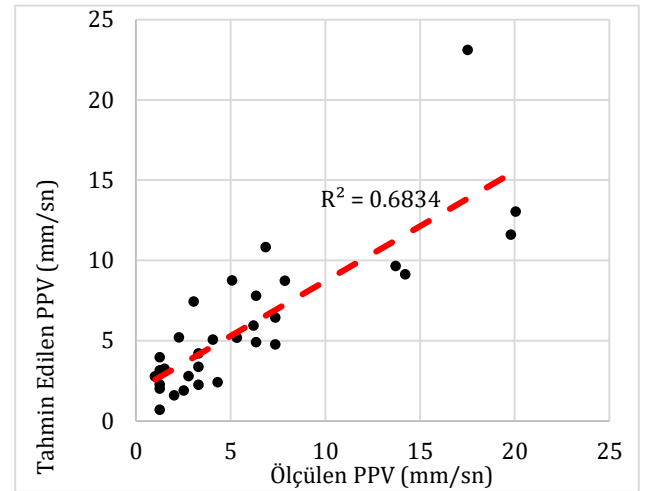
Roy eşitliğinin, belirlilik katsayısı ve korelasyon katsayısına göre Tablo 4'de diğer modeller arasında üçüncü iyi model olduğu görülmekteydi. Modellerin tahmin performanslarının karşılaştırıldığı Tablo 7'de ise en iyi tahmin modeli olduğu belirlenmiştir. Buna göre; sadece belirlilik veya korelasyon katsayısına göre değerlendirme yapılmaması gerektiği, yayılım eşitliklerinin tahmin performansının da değerlendirilmesi gerektiği söylenebilir.

Çok değişkenli regresyon modeli yardımıyla elde edilen Eşitlik 1 kullanılarak tahmin edilen titreşim değerleri ile ölçülen değerler arasındaki ilişki grafiği Şekil 2'de

verilmiştir. En başarılı tahmin modeli olan Roy denkleminde sahaya özgü arazi katsayıları elde edilen Eşitlik 2 kullanılarak tahmin edilen titreşim değerleri ile ölçülen değerler arasındaki ilişki grafiği ise Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Çok Değişkenli Regresyon Modeliyle Tahmin Edilen ve Ölçülen Titreşim Değerleri Arası İlişki Grafiği



Şekil 3. Roy Eşitliği ile Tahmin Edilen ve Ölçülen Titreşim Değerleri Arasındaki İlişki Grafiği

#### 4.4. Titreşim Tahmini

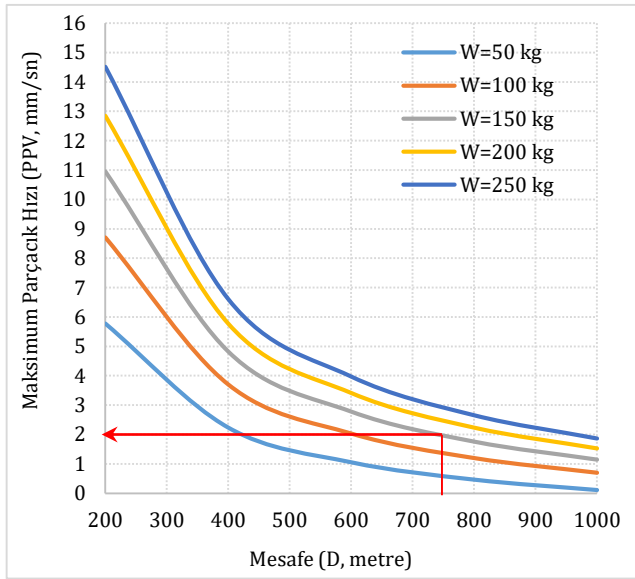
Bu çalışmada tüm regresyon modelleri içerisinde ölçekli mesafeyi dikkate alan eşitliklerden olan Roy eşitliğinin gerçek değerlere daha yakın tahminler yaptığı ve daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmanın amaçlarından bir tanesi kalker sahasına en yakın yerleşim yeri olan Yörükkaracaören köyünde patlatmalardan kaynaklı titreşim seviyelerinin tahmin edilmesidir. Kalker ocağı çalışma sınırının Yörükkaracaören köyüne olan mesafesinin, çalışmaların yapıldığı zaman diliminde yaklaşık 1000 metre olduğu

belirlenmiştir. Firma tarafından kapasite artış için hazırlanan ÇED raporunda ise ocak sınırının köye en yakın mesafesi 750 metre civarında olacaktır. Bu bilgilerden hareketle en başarılı tahmin modeli olan Roy modeli kullanılarak köy yönünde titreşim tahminleri yapılmıştır.

Sahaya özgü arazi katsayıları belirlenen Roy eşitliğinde, bağımsız değişkenler olan mesafe (D) ve gecikme başına maksimum şarj miktarına (W) farklı değerler verilerek maksimum titreşim (PPV) seviyeleri tahminleri yapılmış olup sonuçlar Tablo 8'de, grafiksel görünümü ise Şekil 4'de verilmiştir.

Tablo 8. Sahaya Özgü Roy Eşitliğiyle Maksimum Titreşim Hızı (PPV, mm/sn) Tahmini

Mesafe (D, m)	Gecikme Başına Maksimum Şarj Miktarı (W, kg)				
	50	100	150	200	250
200	5.77	8.70	10.95	12.85	14.52
400	2.24	3.70	4.83	5.77	6.61
600	1.06	2.03	2.78	3.42	3.97
800	0.47	1.20	1.76	2.24	2.65
1000	0.11	0.70	1.15	1.53	1.86



Şekil 4. Roy Eşitliği ile Yapılan Titreşim Tahmin Grafiği

Sahada yapılan patlatmalarda kayıt edilen titreşimlerin frekans aralıkları 4,5-30,1 Hz aralığında olup ortalama 10,19 Hz'dir. Ülkemizde 2022 tarihinde yürürlüğe giren "Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği"nde maden ve taş ocaklarında patlatma kaynaklı oluşan titreşimlerin, 10-50 Hz frekans aralığında tuğla ve beton benzeri evler için yapıda yaratacağı izin verilen en yüksek titreşim hızı seviyesi 15 mm/sn olarak belirtilmiştir. Tablo 8'den de görüldüğü gibi, Roy yayılım eşitliği kullanılarak yapılan tahminlerde 600 metre mesafe ve 250 kg gecikme başına maksimum şarj miktarında dahi maksimum titreşim hızı değeri 3,97 mm/sn olarak hesaplanmıştır. Çalışma sırasında sahada yapılan tüm

patlatmalar arasında en yüksek W değeri 130 kg olarak kullanılmıştır. Bu değere yakın 100-150 kg W değerleri kullanılarak yapılan tahminlerde, en yakın mesafe değeri olan 200 metre mesafede PPV sırasıyla 8,70-10,95 mm/sn olarak tahmin edilmiştir. Bu tahmin edilen değerlerin izin verilen limitlerin oldukça altında kaldığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 4 yardımıyla, ocak nihai sınırında yapılan bir patlatma operasyonunun 750 metre uzaklıktaki Yörükkaracaören köyünde oluşturacağı maksimum titreşim değeri, gecikme başına maksimum şarj miktarı 150 kg olsa dahi 2 mm/sn olacağını % 50 güven seviyesinde tahmin etmek mümkündür. Yayılım eşitliği gerektiğinde %95 güven seviyesinde tahmin yapılacak şekilde güncellenebilir.

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Patlatma kaynaklı titreşimlerin tahmininde araştırmacılar tarafından birçok titreşim tahmin denklemi geliştirilmiş olup en yaygın kullanılanları pratik olmaları nedeniyle ölçekli mesafe kavramını kullananlar olmuştur. Bunun yanı sıra çok değişkenli regresyon analizini tekniği kullanarak da titreşim tahmin modelleri geliştirilmektedir. Bu çalışmada, Eskişehir ili sınırları içerisinde yer alan Yörükkaracaören köyü yakınında bulunan bir kalker ocağında yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşimlerin tahmininde hangi regresyon modelinin daha uygun olacağı araştırılmıştır. En az hata ile tahmin yapan model kullanılarak titreşim tahminleri yapılmıştır. Araştırma sonunda aşağıdaki sonuçlar ve öneriler yazılabilir:

- Kalker ocağında yapılan 31 adet patlatma olayına ait veriler kullanılarak ölçekli mesafeye dayalı geleneksel denklemler yardımıyla ve çok değişkenli regresyon analizi tekniği kullanılarak farklı titreşim tahmin modelleri geliştirilmiştir.
- Ölçekli mesafeye dayalı tahmin eşitliklerinin sahaya özgü katsayıları belirlenmiş ve oluşturulan denklemlerin belirlilik ve regresyon katsayılarına bakıldığında Ambraseys-Hendron denkleminin diğerlerinin önüne geçtiği belirlenmiştir. Ancak, model performanslarının belirlenmesi aşamasında bu eşitlikler kullanılarak yapılan tahminlerin gerçek değerler ile yapılan kıyaslamasında ise Roy eşitliği en düşük tahmin hata indislerini vererek en iyi tahmin denklemi olarak belirlenmiştir. Buna göre, tahminlerde doğrudan en yaygın kullanılan eşitliğin seçilmesi yerine farklı araştırmacıların önerdiği eşitliklerin de kullanımı araştırılmalıdır. Ayrıca, tahmin eşitlikleri değerlendirilirken farklı hata ölçüm yaklaşımlarının kullanılması oldukça önemlidir.
- Çok değişkenli regresyon modelinin belirlenmesi aşamasında ise adimsal regresyon modeli kullanılmıştır. Ölçülen titreşim seviyelerini en çok temsil eden değişkenler sırasıyla D, hs ve H olmuştur.



Bu modelin performansının belirlenmesi sonucunda ise ölçekli mesafeyi dayalı Roy eşitliğinin gerisinde kaldığı belirlenmiştir. Ancak, çok değişkenli regresyon analizi yönteminin patlatma kaynaklı titreşimlerin tahmininde kullanılabilirliği ortaya konmuştur. Her ne kadar modele dâhil edilen tasarım parametrelerinin sayısındaki artış modeli ve tahminleri zorlaştırarak karmaşık hale getirirse de, titreşim tahminlerinde çok değişkenli regresyon modeli de araştırılmalıdır.

- Çalışmada, ayrıca, ileride yapılacak patlatmaların en yakın yerleşim yeri olan Yörükkaracaören köyünde oluşturacağı titreşim seviyeleri bu saha için en uygun olan Roy modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Sahada yapılan patlatmalarda kayıt edilen frekans değerleri ortalaması 10,19 Hz'dir. Ülkemiz "Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği"nde tuğla ve beton benzeri evler için bu frekans değerine karşılık izin verilen en yüksek titreşim hızı seviyesi 15 mm/sn'dir. Yapılan tahminlerde kalker ocağının köye en yakın olabileceği konumda (750 m), 150 kg gecikme başına şarj kullanımında dahi maksimum titreşim seviyelerinin yaklaşık 2 mm/sn civarında olacağı belirlenmiştir. Bu değer izin verilen hız limitlerinin oldukça altında kalmaktadır.

Son olarak, patlatma olayı madencilikte süreklilik içeren bir operasyondur. Sürekli genişleyen bir sahada arazi şartlarındaki değişim yeni titreşim ölçümlerinin yapılmasını gerektirebilir. Özellikle kritik projelerde sahaya özgü geliştirilen yayılım eşitliği de yeni ölçülen veriler ile daima güncellenmelidir.

### Teşekkür

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2022-2401 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

### Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Hakan AK, verilerin toplanması, bilimsel yayın araştırması, istatistiksel analizler, makalenin ve sonuçlarının oluşturulması; Syamsul Hidayat, verilerin toplanması, bilimsel yayın araştırması konularında katkı sağlamışlardır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynaklar

Agrawal H, ve Mishra A.K., (2019). Modified scaled distance regression analysis approach for prediction of blast-induced ground vibration in multi-hole blasting, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Volume 11, Issue 1, Pages 202-207.

Ak, H., Iphar, M., Yavuz, M., Konuk, A. (2009). Evaluation of ground vibration effect of blasting operations in a magnesite mine. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29(4), 669-676.

Ak, H., ve Konuk, A. (2008). The effect of discontinuity frequency on ground vibrations produced from bench blasting: a case study. *Soil dynamics and earthquake engineering*, 28(9), 686-694.

Aksoy, M., ve Kahriman, A. (2014). Akyol Taş Ocağına Özgün Titreşim Tahmin Formülünün Belirlenmesi, *Yer Bilimleri/Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi*, 35(2), 163-174.

Ambraseys, N. R., Hendron, A. J., (1968). Dynamic behavior of rock masses. in: *rock mechanics in engineering practice*, edi: Stagg, K.G. and O.C. Zeinkiewicz, Wiley, London.

Chandar, K.R., Sastry, V.R., Hegde, C. (2017). A Critical Comparison of Regression Models and Artificial Neural Networks to Predict Ground Vibrations, *Geotechnical and Geological Engineering*, 35, 573-583. <https://doi.org/10.1007/s10706-016-0126-3>

Duvall, W.I., Petkof, B., (1959). Spherical propagation of explosion generated strain pulses in rock, *US Bureau of Mines (USBM)*, RI 5483, Washington D. C.

Erarslan, K., Uysal, Ö., Arpaz, E., Cebi, M. A. (2008). Barrier holes and trench application to reduce blast induced vibration in Seyitomer coal mine. *Environmental Geology*, 54, 1325-1331.

Gözler, M., Cevher, F., Ergül, E., Asutay, H. (1997). Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Rapor No.9973*, Ankara.

Hüdaverdi, T., (2012). Application of multivariate analysis for prediction of blast-induced ground vibrations, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Volume 43, Pages 300-308.

Hüdaverdi, T., (2015). Farklı Regresyon Modelleri ile Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısının Tahmin Edilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30 (1) , 141-150.

Hüdaverdi, T., ve Akyıldız, Ö., (2018). Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısının Tahmini ve İnsanlar Üzerindeki Olası Etkilerinin Değerlendirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 817-828.

Indian Standards Institute, (1973). Criteria for safety and design of structures subjected to underground blast, *ISI Bulletin IS-6922*.

- Kahriman, A., Özer, U., Aksoy, M., Karadoğan, A., Tuncer G., (2006). Environmental impacts of bench blasting at Hisarcik Boron open pit mine in Turkey, *Environmental Geology*, 50, 1015–1023.
- Karadoğan, A., Özer, Ü., Kahriman, A. (2012). Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Tahmini İçin Farklı Kayaların Saha Sabitlerinin Belirlenmesi. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, C, 25, 1.
- Karakuş, D., (2010). Patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin yönsel değişiminin araştırılması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 12(2), 30-43.
- Konuk, A., Aksoy, M., Ak, H., (2021). Çoklu bağlantı durumunda kentleşme göstergelerinden agrega üretim miktarının tahmini, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 60(2),97-106.
- Langefors, U., Kihlstrom B., (1963). The modern technique of rock blasting, Wiley Publisher, New York, 405p.
- Liang, Q., An, Y., Zhao, L., Li, D., Yan, L., (2011). Comparative study on calculation methods of blasting vibration velocity. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 44, 93–101.
- Odak Madencilik (2011), İR.200702379 no.lu kapasite artışı kalker ocağı ve kırma eleme tesisi ÇED raporu, Şubat, Eskişehir.
- Ongen, T., Karakus, D., Konak, G., Onur, A. H. (2018). Assessment of blast-induced vibration using various estimation models. *Journal of African Earth Sciences*, 145, 267-273.
- Özer, Ü., Karadoğan, A., Kalaycı, U., Özyurt, M.C., (2014). Bir şehir içi patlatmasında sismik verilerin değerlendirilmesi, *İstanbul Yer Bilimleri Dergisi*, 27(2) 89-101.
- Purtul, E. (2019). Eskişehir-Türkmentokat jeotermal sahasının hidrojeokimyasal incelemesi (Yüksek Lisans Tezi), Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Paswan, R. K., Roy, M. P., Shankar, R., Singh, P. K. (2021). Blast vibration and fragmentation control at heavily jointed limestone mine. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39, 3469-3485.
- Roy, P. P., (1991). Vibration control in an opencast mine based on improved blast vibration predictors. *mining science and technology*, 12: 157-165.

**PERFORMANCE INVESTIGATION OF A 5 MW PHOTOVOLTAIC SYSTEM: ALFASHIR SUDAN**Abdalfthah Hamed ALI<sup>1</sup>, Atabak NAJAFI<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Electric and Electronic Engineering Department, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey,  
[ORCID No : 0000-0003-1268-0675](https://orcid.org/0000-0003-1268-0675)

<sup>2</sup> Electric and Electronic Engineering Department, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey,  
[ORCID No : 0000-0003-0319-7032](https://orcid.org/0000-0003-0319-7032)

Keywords	Abstract
Grid-Connected Maximum Performance Ratio (MPR) Photovoltaic PVsyst	<p><i>This study comprehensively analyzes the operational performance and economic feasibility of a 5MW grid-connected photovoltaic in Sudan over a two-year monitoring period. Leveraging the capabilities of PVsyst software, the actual plant performance was rigorously compared to simulation predictions. Results revealed a significant disparity between observed and simulated energy generation, prompting the exploration of potential areas for enhancement. Seasonal fluctuations in the performance ratio were evident, with peak values during some seasons, albeit not consistently aligning with simulation projections. Despite these challenges, the Plant made a notable impact by reducing CO2 emissions, highlighting the environmental benefits of solar energy. Financial analysis unveiled discrepancies between actual and simulated savings, underscoring the need for optimization and efficiency improvements. The equity payback period, influenced by electricity pricing policies, was estimated at 15 years, emphasizing its role in assessing project economics. The region's high radiation intensity and humidity levels emerged as significant factors affecting plant performance. Addressing these challenges is crucial for maximizing the PV plant's operational efficiency and viability. Our Recommendations include thoroughly examining control system functions during commissioning and improving operational accuracy.</i></p>

**5 MW FOTOVOLTAİK SİSTEMİN PERFORMANS İNCELEMESİ: ALFASHIR SUDAN**

Anahtar Kelimeler	Öz
Şebeke Bağlantılı Maksimum Performans Oranı (MPR) Fotovoltaik PVsist	<p><i>Bu Makale, Sudan'daki 5MW'lık şebekeye bağlı fotovoltaik santralin çalışma performansını ve ekonomik fizibilitesini iki yıllık bir izleme süresi boyunca kapsamlı bir şekilde analiz etmektedir. PVsyst yazılımından yararlanılarak gerçek santral performansı, simülasyon tahminleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, gözlemlenen ve simüle edilen enerji üretimi arasında önemli bir eşitsizliği göstermektedir. Performans oranındaki mevsimsel dalgalanmalar açıkça görülmektedir, her ne kadar simülasyon projeksiyonlarıyla tutarlı bir şekilde uyumlu olmasa da, bazı mevsimlerde en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu zorluklara rağmen tesis, CO2 emisyonlarını azaltarak kayda değer bir etki yaratmıştır. Finansal analiz, gerçek ve simüle edilmiş tasarruflar arasındaki farklılıkları ortaya çıkararak optimizasyon ve verimlilik iyileştirmelerine olan ihtiyacın önemini göstermektedir. Elektrik fiyatlandırma politikalarından etkilenen öz sermaye geri ödeme süresi, proje ekonomisinin değerlendirilmesindeki rolü vurgulanarak 15 yıl olarak tahmin edilmiştir. Bölgenin yüksek radyasyon yoğunluğu ve nem düzeyleri, tesis performansını etkileyen önemli faktörler olarak ortaya çıkmıştır. Bu zorlukların üstesinden gelmek, PV tesisinin verimliliğini ve yaşaya bilirliğini en üst düzeye çıkarmak için çok önemlidir. Önerilerimiz, devreye alma sırasında kontrol sistemi fonksiyonlarının kapsamlı bir şekilde incelenmesini ve operasyonel doğruluğun iyileştirilmesini içermektedir.</i></p>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 09.11.2023

Kabul Tarihi

: 11.03.2024

Research Article

Submission Date

: 09.11.2023

Accepted Date

: 11.03.2024

\* Sorumlu yazar: [ataberk.najafi@ogu.edu.tr](mailto:ataberk.najafi@ogu.edu.tr)<https://doi.org/10.31796/ogummf.1388751>

Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

In light of the undeniable sustainability challenges and the well-documented contributions of hydrocarbon sources, such as coal and oil, to global warming, it is imperative to take decisive actions to expedite the adoption and deployment of renewable energy technologies. This imperative stems from the pressing need to address air pollution issues and meet the energy demands of a rapidly growing global population, all within the context of our fast-paced and energy-driven civilization (Roshana, Indamine, Sujeev Rithan, Krishnakumar and Vishal, 2021). Indeed, the transition to sustainable electricity from renewable sources has become an imperative in virtually every facet of modern life.

The notion that renewable sources have the potential to satisfy global energy needs entirely is not mere conjecture but rather a conclusion drawn from decades of relentless research and innovation. This transformative journey commenced with the development of pioneering systems like solar water heating and has now culminated in the remarkable emergence of hydrogen-powered vehicles on our roads. Among the diverse array of renewable energy technologies, solar photovoltaic (PV) technology stands out as a beacon of hope and practicality, characterized by rapid development and a robust response to global energy concerns (Saheb-Koussa, Koussa and Said, 2013). The PV system cost reduction trajectory has propelled global photovoltaic capacity beyond the remarkable milestone of 635 GW in 2021 (Fadlallah and Benhadji Serradj, 2020). However, despite these monumental achievements, a significant chasm persists between the burgeoning demand for clean energy and the capacity to supply it, necessitating an accelerated and expanded deployment of this technology in the coming decades. Insights from the 2019 World Energy Outlook underscore that achieving zero CO<sub>2</sub> emissions hinges upon a resolute decarbonization of our energy supply, compelling us to expand installed solar capacity to a staggering 7208 TWh by 2040 (Fadlallah and Benhadji Serradj, 2020). It is crucial to recognize that the performance of PV systems is intricately intertwined with many factors, ranging from geographical nuances to solar irradiance and the complex interplay of meteorological variables encompassing wind and temperature (Roshana et al, 2021; Mohammadi and Cenk, 2022). These multifaceted dynamics must be meticulously considered in designing and assessing photovoltaic systems.

Against these global imperatives, the African continent grapples with escalating energy demand, which poses a formidable challenge to attaining Sustainable Development Goals (SDGs). The primary obstacle lies in

the pervasive lack of access to electricity, which impacts the lives of approximately 700 million people who still rely on traditional biomass for their daily energy needs (Adenle, 2020). Despite the significant renewable energy potential that most African nations possess, investments in renewable projects remain meager, hampered by the tardy execution of comprehensive renewable energy plans by governments and the lamentable absence of transparent and credible frameworks.

Like many developing nations, Sudan confronts a chronic electricity scarcity characterized by unreliable supply, frequent outages, and even complete system blackouts. Only 76% of the available power is usable, with 24% lost to inefficiencies (Rabah, Rabah, Nimer, Doud and Ahmed, 2016). Moreover, a mere 35% of the population has access to electricity. This dire situation is exacerbated by a paucity of funds for both conventional and renewable energy projects, as well as Sudan's reliance on expensive fossil fuel imports following the loss of significant oil reserves and gas due to the secession of South Sudan. Although studies have indicated that hydropower and biofuel hold promise as primary electricity sources, the variability of hydropower and the volatility in oil product pricing and availability cast doubt on these findings.

Recent scholarly endeavors have employed simulation tools to assess the feasibility, efficiency, and Output of solar power installations in Sudan. For instance, one study simulated (Abdeen, Mourad and Salim, 2019) a photovoltaic (PV) installation connected to a grid across ten Sudanese cities, utilizing the PVSyst software to categorize these cities based on their potential energy production levels. A 5MW PV system was also constructed, and its yearly energy output was calculated using modeling software, revealing a substantial energy production potential for Sudan cities. Other studies (Sudhakar and Samykan, 2018) have explored the capacities and outputs of 8MW mono-silicon and poly-silicon solar PV systems in cities like Kuala Lumpur and Lucknow, shedding light on the impact of ambient temperature variations on energy production. Furthermore, comprehensive solar resource and production assessments have been conducted (Jamil, Zhao, Zhang, Rafique and Jamil, 2019) for a 3\*50 MW PV plant, providing valuable insights into energy production unpredictability's and the deterioration of power over time. Another study (Faiz, Shako, Raheem, Umer, Rasheed and Farhan, 2021) delved into the performance of a 3 MW PV system in Pakistan, demonstrating significant coal savings and ecological benefits.

Similarly, investigations have been conducted on various grid-connected PV systems worldwide (Goel

and Sharma, 2021; Mondol, Yohanis, Smyth and Norton, 2006; Kymakis, Kalykakis and Papazoglou, 2009; Shiva Kumar and Sudhakar, 2015), providing valuable data on performance ratios and annual energy production. These collective findings reinforce the credibility and utility of simulation tools in assessing PV system performance across diverse geographic and climatic conditions, strengthening the foundation of our research. However, despite these efforts, the performance of Sudan's first giant grid-connected PV plant in Al-Fashir, operational for over three years, has not met expectations. This presents an opportunity for a comprehensive performance review using the PVSyst software package, which offers valuable insights for policymakers and researchers in the Sudanese energy sector. Notably, this study will mark the first economic assessment conducted on the Plant, providing crucial operation data for the Sudanese energy sector.

In conclusion, this comprehensive research initiative aims to address the pressing challenges associated with sustainable energy development in Sudan, mainly through the critical evaluation of the performance of the Al-Fashir PV plant. Using advanced simulation tools, such as PVSyst, offers an invaluable means of assessing plant efficiency and economic viability. Furthermore, this study's outcomes have the potential to shape policymaking and strategic decisions within the Sudanese energy sector, providing a path forward toward a more sustainable and reliable energy future in the region. The originality of this work lies in its focus on evaluating the economic aspects and real-world performance of a substantial grid-connected PV plant in Sudan, contributing to the body of knowledge on renewable energy deployment in developing nations.

This paper is structured into nine sections. Section 1 introduces the study, providing context and objectives. Section 2 delves into the PVSyst software, explaining its role in our analysis. Section 3 briefly summarizes Sudan, setting the geographical and environmental context. Section 4 explores the layout of the Al Fashir photovoltaic station, detailing its design and components. Section 5 focuses on the photovoltaic modules and inverters used in the system. Section 6 describes the simulation process, outlining how data was generated and analyzed. Section 7 presents the simulation results, showcasing key findings and performance metrics. Section 8 conducts a comprehensive feasibility analysis of the Plant's operation, considering economic factors. Finally, Section 9 concludes the paper by summarizing key insights and implications. The paper concludes with a list of references for further reading and verification of sources.

## 2. Pvsyst Software

The utilization of PVSyst, a sophisticated energy modeling software, plays a pivotal role in our research. PVSyst is a versatile computer program specifically designed for simulating the energy production of solar plants both before and after deployment (Ashok Kumar, Indragandhi and Uma Maheswari, 2020). It offers a comprehensive suite of meteorological data and tools tailored for in-depth photovoltaic (PV) systems analysis. A remarkable feature of PVSyst is its extensive database housing solar-related information, facilitating the seamless design of solar power plants at specific geographic locations. This includes critical data such as solar path analysis, indispensable for accurate system design. Furthermore, PVSyst empowers users to make informed decisions regarding selecting PV panels and inverters based on project requirements, ensuring optimal system configuration.

Our investigation centers on various crucial variables critical to the success of solar power systems. These variables encompass the intricacies of framework construction, meticulous assessment of power yield with charts and graphs, in-depth analysis of PV module performance, and the intricate task of delineating power distribution curves. Our focus concerns grid-connected solar networks, a prevalent and environmentally responsible choice. Within our research, we employ PVSyst software to emulate the behavior of photovoltaic modules and converters, employing a circuit configuration analogous to the one illustrated in Figure 1. The structural composition of our study primarily comprises three fundamental elements: PV modules, the system architecture, and the load profiles, collectively forming the basis for our rigorous analysis and insights in this work.

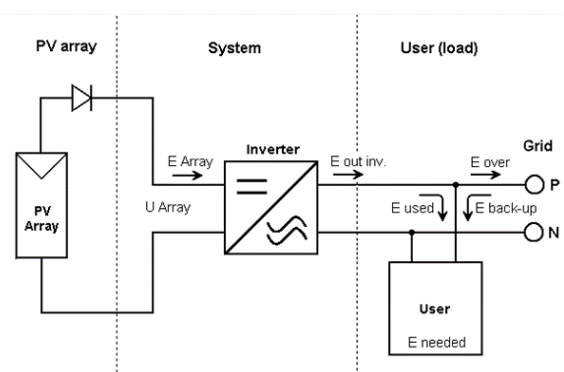


Figure 1. System Structure

## 3. Sudan in Brief

Sudan, an agrarian nation endowed with fertile soil, abundant water resources, and a thriving ecosystem, harbors a population of approximately 42 million. Alarmingly, only 30% of this populace resides in urban

centers with access to electricity (Abdalla and Özcan,2021). In stark contrast, a staggering 70% inhabits smaller towns and rural regions without such access. This disparity is exacerbated because solar energy remains conspicuously underutilized despite Sudan's significant solar potential characterized by high solar radiation levels and extended daylight hours averaging between 7.3 to 10.5 hours daily (Adenle,2020). Sudan distinguishes itself with an annual average solar irradiation of 436 to 639 W/m<sup>2</sup>, surpassing the global norm of 100 to 250 W/m<sup>2</sup> observed in most nations. This noteworthy irradiation potential is visually depicted in Figure 2, corroborating the immense untapped solar energy resources awaiting exploration and development.

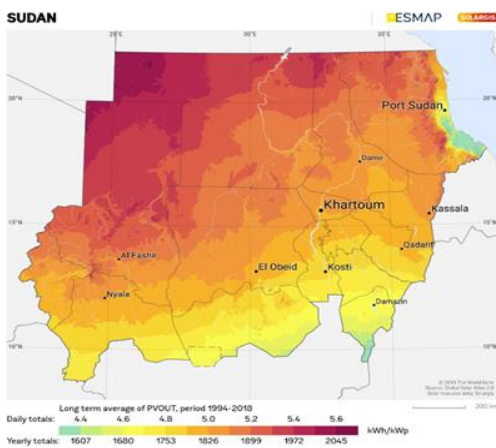


Figure 2. Sudan Irradiation Potential

#### 4. Al Fashir Photovoltaic Station Layout

Alfashir, a prominent town situated in eastern Sudan boasting a population of 264,734 (2006) (Eltayeb and Hamza, 2018), occupies a geographical position at latitude 25°46'30" north and longitude 13°67'104" east. This region experiences a temperature range from 10.5 degrees Celsius to 30 degrees Celsius during summer and can drop as low as 10 degrees Celsius in winter. NASA's data reveals that Alfashir enjoys an abundant global irradiation average of 6.27 kWh/m<sup>2</sup>/day, signifying its immense solar potential and making it a prime candidate for PV power plant construction. Table 1 provides a comprehensive overview of NASA's global and horizontal temperature data for the city.

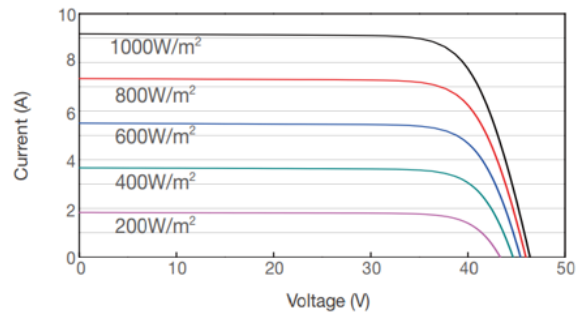


Figure 3. Show All the Specifications for PV Module I-V Characteristics

Despite the backdrop of civil unrest and displacement of residents to refugee camps, where security concerns dictate their movements, the PV plant serves as a beacon of progress for the town. It contributes to urban development and addresses the burgeoning residential energy demand. The Plant has been meticulously designed with a capacity of 5 MW, integrated with the thermal station. It comprises 16,220 modules sourced from Ja Solar, each boasting 325 W output (illustrated in Figure 3 and Table 2, offering a concise summary of the equipment and coupling process). To facilitate energy transfer from the arrays to the utility grid, 84 inverters, each with a 60-kW capacity from SMA, are employed. Additionally, the system incorporates four transformers with capacities of (21500 and 21000) and spans a 13 km overhead transmission line, ensuring efficient energy transmission.

#### 5. Photovoltaic Modules and Inverters

The PV station employs polycrystalline modules manufactured by Ja Solar, each with a power rating of 325W and an impressive module efficiency of 16.73%. Detailed specifications for PV module I-V characteristics are comprehensively presented in Table 3, while Figure 3 visually encapsulates this crucial information. It is worth noting that these assessments are conducted under Standard Test Conditions, with irradiance set at 1000W/m<sup>2</sup> and a temperature of 25°C.

Furthermore, the chosen inverter is sourced from SMA and belongs explicitly to the SUNNY TRI-POWER 60 series, a pivotal component within a cutting-edge global system solution tailored for commercial and industrial photovoltaic (PV) installations. This inverter boasts a substantial rated capacity power of 60KW, complemented by an impressive efficiency of approximately 98%. Notably, every group inverter efficiently communicates energy output and various vital parameters to inverter managers via a dedicated communication data bus, as elegantly visualized in Figure 4, which illustrates the inverter's efficiency curve.

Table1. Climatic Conditions ALFASHIR City

Months	Global Horizontal irradiation kW/m <sup>2</sup> /day	Horizontal diffuse irradiation kW/m <sup>2</sup> /day	Temperature °C
January	4.12	1.03	10.5
February	5.38	1.04	12.8
March	6.33	1.32	18.1
April	7.11	1.60	24.0
May	7.51	1.79	28.6
June	8.19	1.61	31.5
July	8.16	1.54	31.2
August	7.67	1.44	30.9
September	6.71	1.34	29.4
October	5.67	1.12	23.9
November	4.54	0.99	17.6
December	3.82	0.98	12.1
Year	6.27	1.32	22.6

Table 3. Show all the specifications for PV module I-V characteristics

Rated Maximum Power (Pmax) [W]	325W
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	46.38V
Maximum Power Voltage (Vmp) [V]	37.39V
Short Circuit Current (Isc) [A]	9.17A
Maximum Power Current (Imp) [A]	8.69A
Module efficiency %	16.73%
Power Tolerance	-0~+5W

Table 2. Electrical Devices and Coupling Process

Pos	Amount Modules	Amount Strings	Station Type	Amount Inverter	Amount	Amount	Amount	Power	Power	No
					Strings	Per Strings	Modules	AC	DC	
3MW	9960	483	1500	17	10	20	3400	1020	1105	242
					8	20	1440	480	468	
					9	20	1620	540	526.5	
2MW	6560	328	1000	13	10	20	2600	780	845	166
					4	20	720	240	234	
					9	20	1800	540	585	162
5 MW	16220	811	5MW	84	8	20	1440	480	468	
							16220	5040	5271.5	811

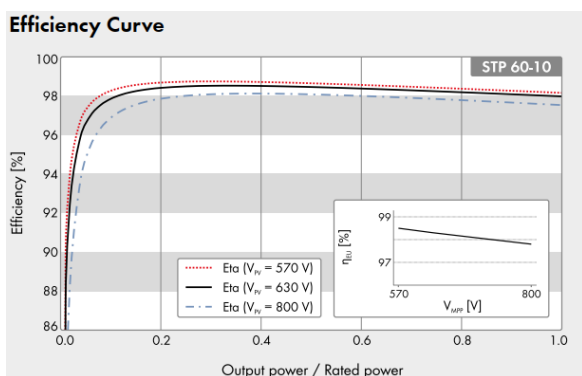


Figure 4. Efficiency Curve for Inverter

**5.1. The Operation Performance of the PV Plant**

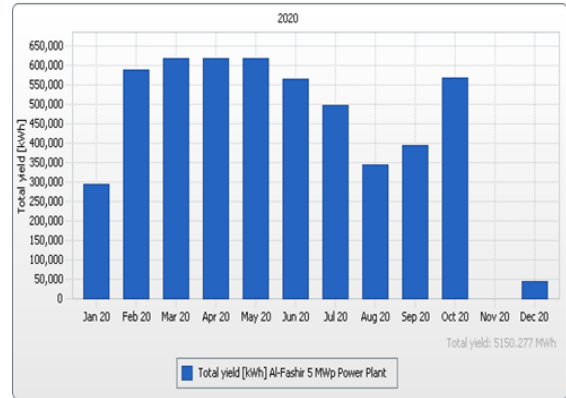
The PV plant, commissioned in 2019, underwent a detailed performance assessment for 2020 and 2021. Notably, in 2020, the Plant demonstrated an impressive

power output of 5150.28 MWh, which increased to 6839.36 MWh in 2021, reflecting a consistent growth trajectory. The average annual power generation for the Plant stands at 5862.71 MWh/year, highlighting its remarkable contribution to the region's energy needs. Figures 5 and 6 visually depict the monthly average values of energy and power generated for 2020 and 2021, showcasing the Plant's reliability and consistent performance throughout both years.

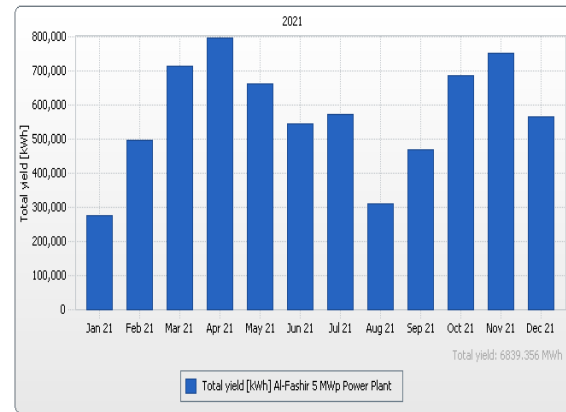
For a deeper understanding of the Plant's operational performance, it is essential to scrutinize monthly power generation trends. In 2021, the Plant exhibited a monthly power generation range from 274,144 kWh (January) to an impressive 797,417 kWh (April), as presented in Figure 7-a and Figure 7-b. Similarly, the performance spanned from 0 to 619 MWh (April and May 2020), culminating in a total annual output of 5150 MWh. Notably, the Plant displayed its optimal

performance during the summer months (February, March, April, May, and June), contributing 9.24%, 11.37%, 12.07%, 10.92%, and 9.44% of the total annual power generation, respectively.

However, as autumn set in (July, August, September, and October), there was a decline in energy capture, accounting for 9.14%, 5.57%, 7.36%, and 8.86% of the annual total. Winter months (November to January) witnessed power generation averaging 404.77 MWh, 251.12 MWh, and 280.43 MWh, respectively, making up 6.91%, 4.29%, and 4.79% of the total annual Output. This evident seasonal variation underscores the Plant's adaptability and the importance of considering these fluctuations in future planning and energy management strategies.



(a)



(b)

Figure 7. a) Total Yield from The Power in 2020, b) Total Yield in 2021.

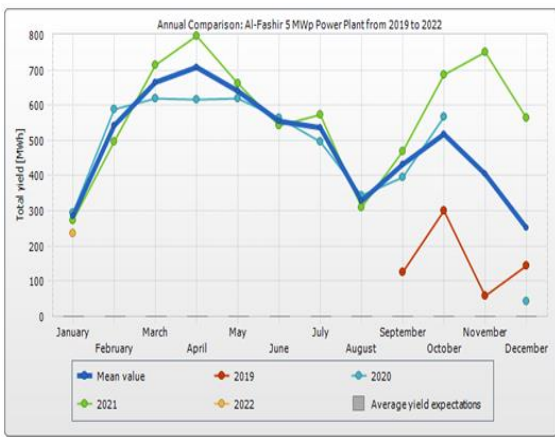


Figure 5. Annual Comparison Total Yield for The Plant

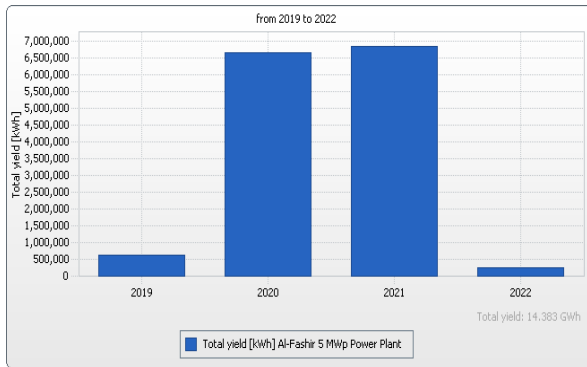


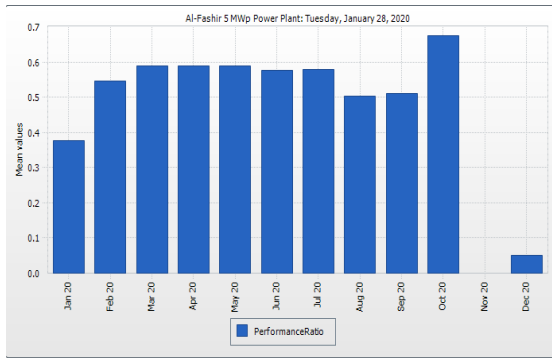
Figure 6. Total Yield by Years [Kwh]

### 5.2. Performance Ratio for the PV Plant:

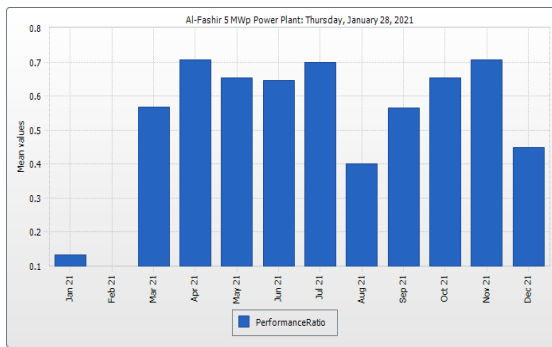
The Performance Ratio (PR) is a crucial metric in assessing the effectiveness of grid-connected photovoltaic systems (Faiz et al., 2021), considering various environmental factors that can impact system performance. In 2021, the PR was recorded at 0.515, while in 2020, it stood at 0.455, resulting in an annual average PR of 0.485, signifying an overall system efficiency of 48.5% for the year. This key performance indicator provides valuable insights into the station's ability to operate optimally under varying conditions.

Figures 8-(a&b) visually present the PR trends for 2020 and 2021. Notably, in October 2020, the PR reached an impressive 0.65, demonstrating a notable peak in performance. Similarly, in 2021, the PR surged to 0.7 in April, July, and November, underlining the system's capability to achieve higher efficiency during specific periods.





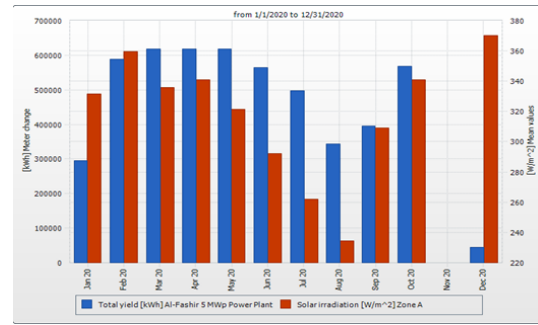
(a)



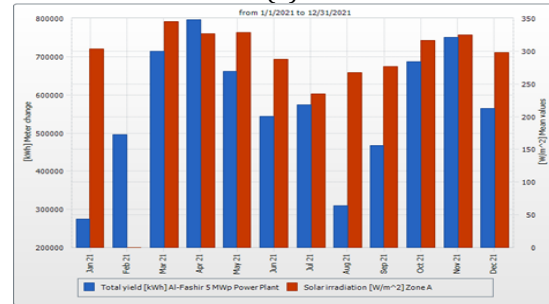
(b)

Figure 8. a) Performance Ratio for 2020 b) Performance Ratio for 2021

Examining Figures 9-(a&b), which depict irradiation and power yield for the same years, it becomes evident that the lower PR recorded during certain months, compared to the 0.7 PR achieved in others, can be attributed to specific environmental factors. Notably, during the autumn season, when the sun's position is lower in the sky, the fixed tilt of the Plant leads to shading losses. These shading losses primarily occur due to mutual shadowing between module rows, particularly in the mornings and afternoons. This seasonal variation underscores the importance of optimizing system design and tilt angles to minimize shading losses and enhance overall performance. Further investigation into the specific reasons for these fluctuations could provide valuable insights for future system improvements.



(a)



(b)

Figure 9. a) Irradiation with Total Yield in 2020 b) Irradiation with Total Yield in 2021

### 6. Simulation

In this section, we present the results of our comprehensive evaluation of performance metrics, including a comparative analysis with theoretical outcomes generated by PVSyst. Notably, PVSyst consistently delivers results that closely align with theoretical expectations, a testament to the program's robust features and versatile capabilities. One of the standout advantages of PVSyst lies in its ability to seamlessly integrate data from sources such as Mateo and personnel records, enhancing its utility and relevance.

Furthermore, PVSyst, leveraging site-specific climatic conditions and coordination data, provides invaluable specifications for the electrical components employed in the Alfashir PV plant's on-grid scheme. The program's ability to process hourly input parameters is instrumental in determining system output and critical metrics for our research objectives. Specifically, in our investigation of the annual power outputs of a 5MW PV solar plant at the Alfashir site, we harnessed the power of PVSyst software. To maximize solar irradiation, we employed a system orientation strategy that set the tilt angle at 27 degrees and the azimuth at 0 degrees, a configuration determined by latitude and longitude considerations. Figure 10 visualizes this orientation system modeling, highlighting the precision and detail that underlie our approach to optimizing energy capture at the Alfashir PV plant.

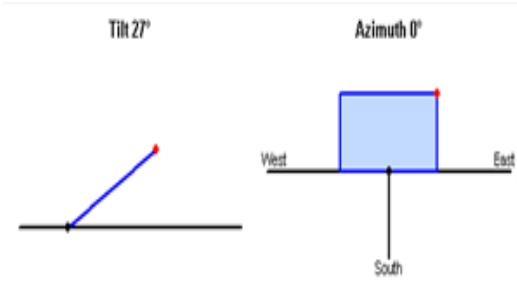


Figure 10. PV Plant Orientation and Tilt Angle

**7. Simulation Results**

In our analysis, we have delved into the simulation results to unveil the optimal design parameters for the PV plant, aiming to achieve an annual power injection of 10,580 MWh, as illustrated in Figure 11. When comparing this aspiration with the actual recorded data, we observed that the total annual power generation for the Plant amounted to 5,150.28 MWh in 2020, as presented in Figure 7) a. In 2021, the Plant's total power generation escalated to 6,839.36 MWh, as indicated in Figure 7) b. This implies that the PV plant maintains an average annual generation of 5,862.71 MWh.

However, we noted certain discrepancies, particularly in January 2021, where there were a few days without recorded data despite suitable irradiation levels. This raises questions about the grid's responsiveness to supply interruptions. Additionally, while the simulation predicted a maximum value of 900 MWh for April, the Plant recorded 800 MWh, resulting in a 100 MWh difference.

To contextualize our findings, we referred to studies conducted by other researchers. Author (Abdeen et al.,2019) for instance, examined ten towns in Sudan, including Nyala and Elginina, which are geographically close to Alfashir. Their work indicated annual generation figures of approximately 8,297,722 kWh for Elginina and 8,241,718 kWh for Nyala, closely aligning with our simulation predictions for Alfashir. The author (Abdalla and Özcan,2021) also presented an annual average that closely mirrors the predictions generated by PVsyst.

Table 4 provides insights into the normalized production per installed kWp, while Figure 12 visually represents the system's Output. Figure 13. a&b illustrates the energy distribution estimated by simulation for an array of plants throughout the year, offering a comprehensive view of daily energy input into the grid. These figures contribute to a holistic understanding of the PV plant's performance.

One of the most pivotal parameters for evaluating PV plant performance is the Performance Ratio (PR). Notably, various nations, including the United States,

Australia, and the European Union, continually rely on PR as a critical performance metric to optimize their photovoltaic systems. The analysis of the power plant's energy output (YF) in 2020 and 2021, totaling 5,150 MW and 6,839 MW, respectively, compared to the reference value of 5,142 MW, reveals an overall assessment of losses' impact on the expected power output. The following equation was used for calculation:

$$PR = \frac{YF}{YR} = \frac{\frac{\text{Output energy}}{\text{Rated power for plant}}}{\frac{\text{In plane irradiation}}{\text{Reference irradiation}}} \tag{1}$$

Our investigation highlights the significant role of shading and high temperatures in autumn and summer, leading to considerable degradation in system performance. Various losses, including those stemming from irradiance level fluctuations, array soiling, module quality, array incompatibility, and AC and DC ohmic losses, come into play. A detailed power flow diagram (Figure 14) provides a comprehensive overview of these planned PV system losses throughout the year. Figure 15, depicting a daily input/output diagram, further elucidates the relationship between global incidence energy received by the absorber plane and the power generated by the PV system. This linear graph reaffirms the suitability of our on-grid model, showcasing that the PV plant consistently provides a minimum of 25,000 kilowatt-hours of electricity to the grid on most days throughout the year. Finally, our comprehensive analysis and simulations, as presented in Appendix (1), provide a robust foundation for understanding the performance, challenges, and potential of the Alfashir PV plant. These findings contribute valuable insights into optimizing the efficiency and reliability of PV systems, particularly in regions with abundant solar resources like Sudan.

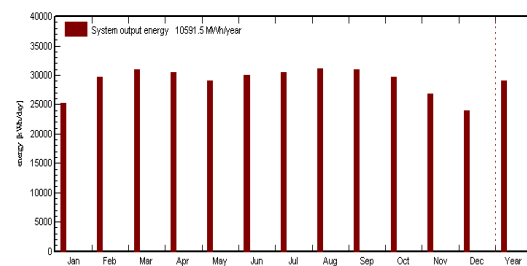


Figure 11. Simulation Output

Table 4. System Output

	Horizontal global kWh/m <sup>2</sup> /day	Coll.Plane kWh/m <sup>2</sup> /day	System output kWh/day	System output kWh
Jan.	4.12	5.93	25161	778988
Feb	5.38	6.99	29663	830662
Mar	6.33	7.27	30875	957135
Apr	7.11	7.17	30451	913540
May	7.51	6.85	29101	902134
June	8.19	7.07	30019	900580
July	8.16	7.18	30483	944966
Aug	7.67	7.34	31160	965945
Sep	6.71	7.27	30882	926445
Oct.	5.67	7.00	29724	921435
Nov	4.54	6.32	2888	805730
Dec	3.82	5.65	23971	743090
Year	6.27	6.83	29018	10591531

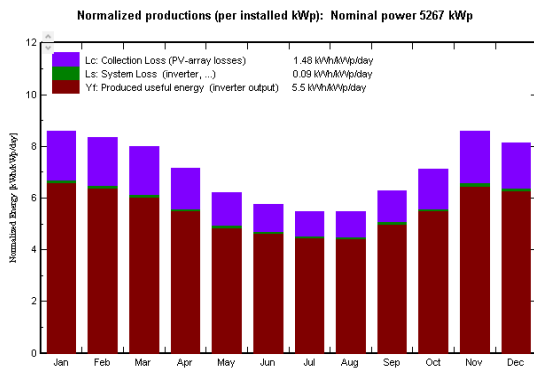
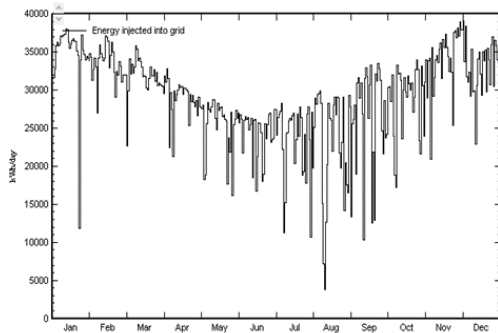
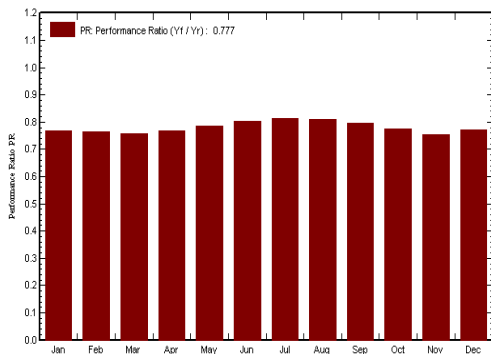


Figure 12. Nominal Power



(a)



(b)

Figure 13. a) Daily System Output Energy  
b) Performance Ratio [PR]

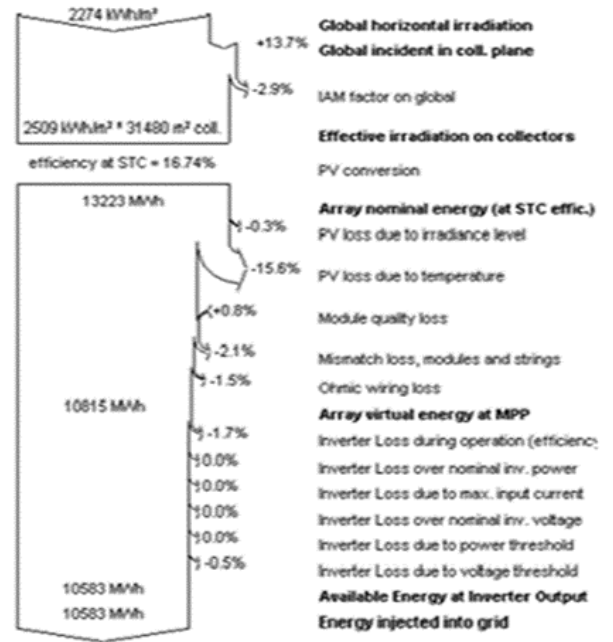


Figure 14. Losses Diagram

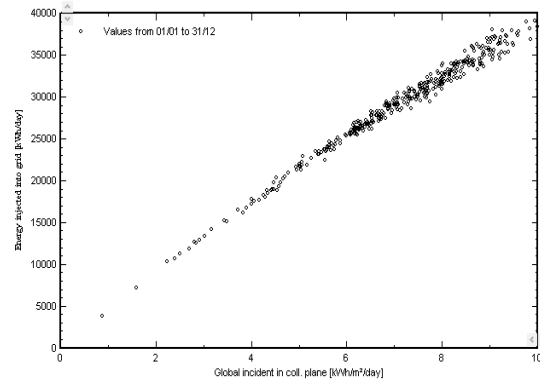


Figure 15. Daily Input and Output Diagram

### 8. Feasibility Analysis of the Plant Operation

The Sudanese Government's decision to contract a local firm to install a 5 MW PV system without conducting a pre-design or feasibility study, as highlighted by (Ibrahim et al., 2020), resulted in a total cost of \$6,862,846.25M. This cost is significantly higher than the global benchmark price of one dollar per watt, indicating that the total cost should ideally be around \$5 million for a project of this scale. We employed two primary methods to evaluate the economic feasibility of such a photovoltaic plant. Firstly, the Levelized Cost of Electricity (LCOE) analysis was employed, calculating the cost of solar electrical energy and comparing it to grid energy. Secondly, a return on investment (ROI) approach was adopted, considering positive cash flow values for energy generation and savings against negative cash flow values for the initial cost and maintenance expenses. Cash flow analysis is integral to PV project investment, with energy generation, revenue,

and savings contributing to positive cash flows, while operational costs are expressed as negative cash flows.

Based on the investment cost and input parameters, the PVSyst program was utilized to simulate the system's operation and derive comprehensive results. The LCOE analysis indicated a cost of \$0.081 per kWh, in line with the findings of a research article (Fadlallah and Benhadji, 2020; Mohammadi and Cenk, 2023) citing a cost of \$0.08746 per kWh for a 20 MW plant in Sudan. The total power generated by the Plant in 2020 and 2021 was 5,150 MW and 6,839 MW, respectively, with an average of 5,862.71 MWh/year over two years. In contrast, the simulation suggested an optimal design with an annual output of 10,580 MWh.

The financial assessment considered the anticipated 25-year lifespan of the PV panels, with computations of annuity estimates, net present value (NPV), and payback period. The payback period was found to be 15 years, influenced by the electricity price, with Sudanese electricity tariffs ranging from \$0.034 to \$0.085 per kWh. The study adopted the national tariff of \$0.085 per kWh, exceeding the LCOE (\$0.081 per kWh). Exploring different tariff scenarios, such as \$0.09 per kWh, reduced the payback period to 12 years, and at \$0.10 per kWh, it dropped to less than ten years. However, it is essential to note that these calculations depend on factors like tariffs, subsidies, and energy generation capacity.

The disparity between the annual energy savings projected by the software (10,580 MWh/year) multiplied by the tariff (\$0.085 per kWh) and the actual annual power generation (5,862.71 MWh/year) resulted in a noticeable discrepancy. Over half of the annual savings were lost due to various factors, including limited operating hours due to fluctuating solar radiation, output reductions to avoid grid frequency interference and environmental factors such as dust deposition and humidity.

Dust deposition on PV panels, which can reduce efficiency by up to 40%, is a significant concern in dry, arid regions. Additionally, humidity can affect the efficiency of PV panels by refracting and scattering incoming light. To maximize solar energy production, photovoltaic power plants should be strategically located in areas with high solar irradiance, low dust levels, humidity, and clear atmospheric conditions (Abdalfatah and Atabak, 2022). Our analysis underscores the importance of conducting feasibility studies, optimizing system design, and considering environmental factors when planning photovoltaic projects in regions like Sudan, rich in solar resources but susceptible to various operational challenges.

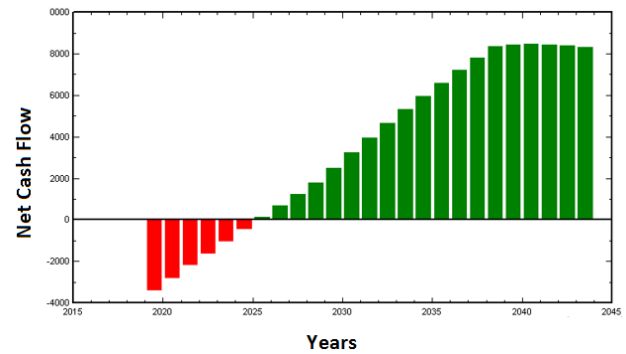


Figure 16. The Cumulative Cash Flow

## 9. Conclusion

This study evaluated a 5MW grid-connected PV plant's operational performance and economic feasibility in Sudan over two years, utilizing PVSyst software for analysis and simulation. Notably, we observed a significant discrepancy between the actual energy generation and the predictions from the simulation, with the annual average falling far short of expectations. The performance ratio (PR) exhibited seasonal variations, reaching its peak in the spring months, but the actual performance showed fluctuations, suggesting room for optimization.

Despite these challenges, the PV plant substantially contributed to reducing CO<sub>2</sub> emissions, emphasizing the environmental benefits of solar energy in Sudan. Additionally, the financial analysis revealed that while annual savings were realized, they fell considerably short of the simulation's projections, indicating the need for further optimization. The equity payback period, influenced by electricity pricing policies, was estimated at 15 years, highlighting its significance in assessing financial viability. Challenges such as high radiation intensity and humidity were identified, underscoring the need for control system improvements and addressing shading issues.

This study provides a robust foundation for enhancing PV system performance and informs future research directions in renewable energy. Addressing these challenges is imperative for optimizing the PV plant's operational efficiency and viability. Looking ahead, we recommend a comprehensive assessment of the system's functions during the commissioning phase and emphasize the importance of continually improving accuracy in the PV plant's operations. Additionally, future research endeavors could explore the shadowing effects on PV system efficiency and delve into the intricacies of the grid-PV system interconnection to comprehensively comprehend the implications of the PV plant on the utility. This study is a robust foundation for advancing PV system performance and guides future research trajectories in renewable energy within the Sudanese context.

### Contribution of Researchers

A.H. ALI contributed to the methodology, evaluation of the results, writing of the study.

A. NAJAFI contributed to the literature review, reviewing and editing of the study.

### Conflict of Interest

No conflicts of interest have been declared by the authors.

### References

- Adenle ,A. A. (2020). Assessment of solar energy technologies in Africa-opportunities and challenges in meeting the 2030 agenda and sustainable development goals. *Energy Policy*, 137, 1-16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111180>.
- Abdeen, O., Mourad, M. and Salim, H. (2019). A comparison study of PV (5MW) based on PVsyst program for evaluation productive energy to connect with the grid. Sudan case study. 1st International Conference on Sustainable Renewable Energy Systems and Applications (ICSRESA), Tebessa, Algeria, 1-6. doi: [10.1109/ICSRESA4.9121.2019.9182520](https://doi.org/10.1109/ICSRESA4.9121.2019.9182520).
- Abdalla, S. N. M. and Özcan, H. ( 2021). Design and simulation of a 1-GWp solar photovoltaic power station in Sudan. *Clean Energy*, 5(1), 57-78. doi: <https://doi.org/10.1093/ce/zkaa030>.
- Ashok Kumar L., Indragandhi, V. and Uma Maheswari, Y. (2020). *Software Tools for the Simulation of Electrical Systems: Theory and practice* 1th edition. Publisher Academic press.
- Abdalfatih, H. A. and Atabak, N. (2022). Optimization and Performance Improvement of Grid-Connected PV Plant Based on ANN-PSO and P&O Algorithms. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2022, 1-15 .doi:<https://doi.org/10.1155/2022/1278492>.
- Eltayeb, K. O. H. and Hamza, M. M. (2018). Utilization of Renewable Energy Resources in Al-Fashir City. *International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)*, 1-4. doi: [10.1109/ICCCEEE.2018.8515782](https://doi.org/10.1109/ICCCEEE.2018.8515782).
- Fadlallah, S.O. and Benhadji Serradj, D.E. (2020). Determination of the optimal solar photovoltaic (PV) system for Sudan. *Sol. Energy*, 208, 800-813. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.04>.
- Fadlallah, S. O. and Benhadji Serradj, D. E. (2020). Determination of the optimal solar photovoltaic (PV) system for Sudan. *Sol. Energy*, 208, 800-813. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.041>.
- Faiz, R., Shakoor, A., Raheem, F., Umer, N. and Farhan, M. (2021). Modeling and Analysis of 3 MW Solar Photovoltaic Plant Using PVSyst at Islamia University of Bahawalpur, Pakistan. *International journal of Photoenergy*, 2021, 1-14. doi: <https://doi.org/10.1155/2021/6673448>.
- Goel, S. and Sharma, R. (2021). Analysis of measured and simulated performance of a grid-connected PV system in eastern India. *Environ. Dev. Sustain*, 23(1), 451-476. doi: <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00591-7>.
- Jamil, I., Zhao, J., Zhang, L., Rafique, S. F. and Jamil, R. (2019). Uncertainty Analysis of Energy Production for a 3 × 50 MW AC Photovoltaic Project Based on Solar Resources. *Int. J. Photoenergy*, 2019, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/1056735>.
- Kymakis, E., Kalykakis, S. and Papazoglou, T. M. (2009 ). Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete. *Energy Conversion. Management*, 50(3), 433-438, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.12.009>
- Mondol, J. D., Yohanis, Y., Smyth, M. and Norton, B. (2006). Long term performance analysis of a grid connected photovoltaic system in Northern Ireland. *Energy Conversion Management*, 47(18-19), 2925-2947. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.03.026>.
- Roshana, A., Indamine, A., Sujeev Rithan, S., Krishnakumar, R. and Vishal, J. M. (2021). Design and Investigation of Grid Associated PV Framework Using PVSYST Software. *International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)*, Coimbatore, India, pp. 1-6. doi: [10.1109/ICAECA52838.2021.9675711](https://doi.org/10.1109/ICAECA52838.2021.9675711).
- Rabah, A., Rabah, A., Nimer, H. B., Doud, K. R. and Ahmed, Q. A. (2016). Modelling of Sudan's Energy Supply, Transformation, and Demand. *J. Energy*, 2016, 1-14. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/5082678>.
- Saheb-Koussa, D., Koussa, M. and Said, N. ( 2013). A Technical, Economic, and Environmental Performance of Grid-Connected Hybrid (Photovoltaic-Wind) Power System in Algeria. *Sci. World J*, 2013, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/123160>.
- Sudhakar, K. and Samykano, M. (2018). Performance of Utility Scale PV Plant in Malaysia and India: A Comparative Study. 4th International Conference on

Electrical Energy Systems (ICEES), Chennai, 106–110. doi: [10.1109/ICEES.2018.8442361](https://doi.org/10.1109/ICEES.2018.8442361).

Shiva Kumar, B. and Sudhakar, K. (2015). Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India. Energy Rep, 1, 184–192. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2015.10.001>.

Mohammadi, A. D. and Cenk, G. (2022). Design and Simulation of Grid-Connected Solar PV System Using PVSYST, PVGIS and HOMER Software. International Journal of Pioneering Technology and Engineering, 1(1), 36-41. doi: [10.56158/jpte.2022.24.1.01](https://doi.org/10.56158/jpte.2022.24.1.01).

Mohammadi, A. D. and Cenk, G. (2023). Feasibility investigation and economic analysis of photovoltaic, wind and biomass hybrid systems for rural electrification in Afghanistan. Electrical Engineering, 1-21. doi: <https://doi.org/10.1007/s00202-023-02115-8>.

# AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA DİZEL YERİNE SIVILAŞTIRILMIŞ DOĞAL GAZ KULLANIMININ YAKIT TÜKETİMİNE ETKİSİ

Bekir Barış ERÇELİK<sup>1</sup>, Bahadır DOĞAN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-9573-3677>

<sup>2\*</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-4648-1375>

Anahtar Kelimeler	Öz
Dizel Sıvılaştırılmış doğal gaz LNG Yakıt tüketimi Yakıt ekonomisi	<i>Bu çalışmada, ağır ticari araç sınıfında yer alan bir çekicinin yakıt tüketimi ve ivmelenme performansı dizel ve sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) yakıtlı bir motora sahip olması durumunda gerçek yol sürüş testleri ile karşılaştırılmıştır. Testler sırasında her iki çekicide Euro VI normlarına sahip 338 kW gücünde motor kullanılmıştır. Araçlar toplam 41000 kg ağırlıkta eğimsiz düz bir yolda kullanılarak 85 km/h hızdan 20 km/h hıza serbest yavaşlama ve kalkıştan 85 km/h hıza ulaşana kadar hızlanma testlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca 164,3 km'si otoyol, 44,4 km'si kırsal yol ve 54,7 km'si şehir içi yol olmak üzere toplam 263,4 km'den oluşan bir güzergâhta kullanılan araçların ortalama yakıt tüketim maliyetleri hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, LNG yakıtlı aracın 100 km için yakıt maliyeti 1003,58 TL dizel aracın ise 1359,32 TL olarak hesaplanmıştır. LNG yakıtlı aracın ilk satış maliyetinin %30 daha pahalı olacağı öngörüldüğünde bile elde edilmiş olan %27 oranındaki yakıt tasarrufunun uzun yol kullanılan bir araç için kayda değer bir sonuç olduğu anlaşılmaktadır.</i>

## EFFECT OF USE OF LIQUEFIED NATURAL GAS INSTEAD OF DIESEL IN HEAVY COMMERCIAL VEHICLES ON FUEL CONSUMPTION

Keywords	Abstract
Dizel Liquefied natural gas LNG Fuel consumption Fuel economy	<i>In this study, the fuel consumption and acceleration performance of a heavy commercial vehicle have been compared with real road tests in case of an engine with diesel and liquefied natural gas (LNG) fuel. During the tests, a 338-kW motor with Euro VI norms was used in both vehicles. The vehicles with a total weight of 41000 kg were subjected to free deceleration from 85 km/h to 20 km/h and acceleration from take-off to 85 km/h on a straight road without slope. Besides, the average fuel consumption costs of the vehicles used on a total route of 263.4 km consisting of 164.3 km of motorways, 44.4 km of rural roads, and 54.7 km of urban roads were calculated. According to the results, the fuel cost for 100 km of an LNG-fueled vehicle was calculated as 1003.58 TL and for a diesel vehicle as 1359.32 TL. Even if the predicted first sale cost of the LNG-fueled vehicle will be 30% more expensive, it is understood that the 27% fuel saving is a significant result for a long-distance vehicle.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 13.11.2023

: 08.02.2024

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 13.11.2023

: 08.02.2024

\* Sorumlu yazar: [bdogan@ogu.edu.tr](mailto:bdogan@ogu.edu.tr)

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1388761>

### 1. Giriş

Dünya genelinde insan nüfus her yıl yaklaşık %1,1 artmaktadır ve bu artış ile birlikte araç sayısının da artacağı kaçınılmaz bir gerçektir. 2010 yılında dünyadaki araç sayısı yaklaşık 1 milyarken 2030 yılında bu sayının iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir (United Nations, 2017; World Energy

Council, 2011). Artan araç sayısı ile tüketilen enerji miktarı da aynı oranda artmaktadır.

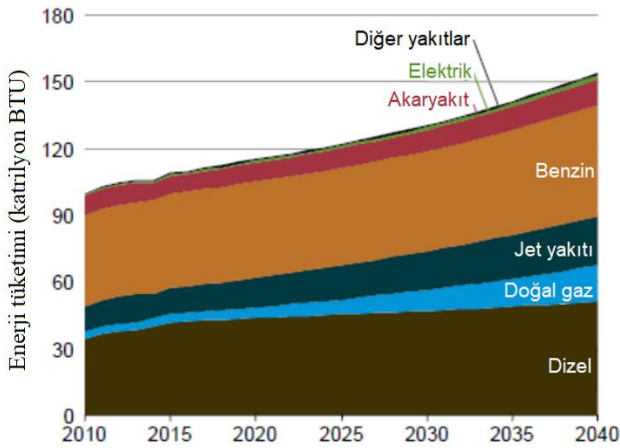
Özellikle taşımacılık ve ulaşım sektöründe kullanılan benzin ve dizel yakıta olan talebin artmasıyla sıvılaştırılmış doğalgaz gibi alternatif yakıtlar ortaya çıkmıştır. Günümüzde taşımacılık ve ulaşım sektöründe kullanılan sıvı yakıtların toplam içerisindeki payı 2012 yılından 2040 yılına kadar %96'dan %88'e düşeceği



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

beklenirken doğal gazın payının aynı dönem için %3'ten %11'e yükseleceği beklenmektedir (Şekil 1). EIA 2016 raporuna göre ise ağır ticari araçlarda sıvı yakıt yerine doğal gaz kullanımının 2012-2040 yılları arasında %1'den %15'e yükseleceği öngörülmektedir. (U.S. Energy Information Administration, 2016). Enerji tüketimi açısından değerlendirildiğinde taşımacılık sektörü sanayi sektöründen sonra %30'luk bir pay ile dünyada ikinci sırada yer almaktadır (Atabani, Badruddin, Mekhilef ve Silitonga, 2011; Moriarty ve Honnery, 2016). Taşımacılık ve ulaşım sektöründe en yaygın olarak kullanılan petrol türevi yakıtlar içerisinde benzin ve dizel hiç kuşkusuz büyük bir paya sahiptir (Engerer ve Horn, 2010). Özellikle karayolu taşımacılığında tercih edilen söz konusu bu iki enerji kaynağının toplam sera gazı salınımindaki payı ise %73'tür. Bu sebeple, petrol türevi yakıtlara kıyasla daha az kirlenici ve daha ucuz bir enerji kaynağı olan doğal gazın kullanılması önerilmektedir. Avrupa'da kısa ve orta vadede biyo-yakıtların, orta ve uzun vadede doğal gazın ve uzak uzun vadede hidrojenin belirlenen hedeflere ulaşma doğrultusunda piyasaya sürülmesi planlanmaktadır (J. Osorio-Tejada, Llera ve Scarpellini, 2015).



Şekil 1. Dünya taşımacılık sektörü enerji tüketimini karşılayan enerji kaynakları (U.S. Energy Information Administration, 2016)

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Avrupa Komisyonu'nda karayolu ulaşımında kullanılacak alternatif yakıtlar için bir yol haritası çizilmiştir. Özellikle uzun mesafeli ulaşım için tüketilen dizel yerine ikame yakıtın sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) olabileceği belirtilmiştir (European Commission, 2013). Ayrıca Avrupa Birliği'ne üye tüm devletlerin LNG'nin sıvı yakıtlara alternatif olabileceği konusundaki fikir birlikleri ve LNG'nin Euro VI standartında belirtilen emisyon sınırlarına uygun olması yakın gelecekte LNG'ye olan talebin artacağını bir göstergesidir (European Commission, 2020; Official

Journal of the European Union, 2014). LNG yakıtlı araçların çevreye olan negatif etkilerin azaltılması ve yakıt tasarrufu sağlanması gibi pozitif etkilerinin yanında araçların ilk satın alım ve bakım maliyetlerinin geleneksel dizel araçlara göre daha pahalı olması gibi dezavantajlar da mevcuttur. LNG yakıtlı araçların ilk satın alım maliyeti dizel araçlara göre yaklaşık %30 daha pahalıdır (Smajla, Karasalihović Sedlar, Drljača ve Jukić, 2019). Ayrıca bakım maliyetlerinin de %10 daha pahalı olacağı öngörülmektedir (Osorio-Tejada ve diğ., 2017). LNG yakıtlı bir aracın ilk satın alım maliyeti dikkate alındığında geri ödeme süresi yılda yapılan mesafeye göre değişiklik gösterecektir ancak özellikle ulaştırma sektöründe kat edilen yüksek mesafelerde elde edilen yakıt tasarrufu ile söz konusu maliyet artışlarının telafi edilebileceği öngörülmektedir (Enerdata, 2014). Doğal gazlı araçların kullanımı 1930'lara dayanmaktadır ve çeşitli araçlara uygulanabilen olgun bir teknoloji olarak kabul edilir (Yeh, 2007). 2019 yılı verilerine bakıldığında, dünyada 28 milyona yaklaşan doğal gazlı araç ve 32577 doğal gaz dolmuş istasyonu bulunmaktadır (NGV Global, 2019).

Doğal gaz, araçlarda sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ve sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) olmak üzere iki farklı formda kullanılmaktadır. Bu iki seçenektен birisi olan LNG, CNG'ye göre daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahip olduğundan taşımacılık sektörü ve uzun yol ulaşımında kullanılan ağır ticari araçlarda daha çok tercih edilmektedir (Arteconi, Brandoni, Evangelista ve Polonara, 2010). CNG ise daha çok kent içi ulaşımında kullanılan küçük araçlar için uygundur. Sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG), doğal olarak oluşan bir hidrokarbon karışımıdır ve saflaştırılmış veya kriyojenik olarak -162°C sıcaklığa soğutulmuş sıvı forma dönüştürülür. LNG atmosfer basıncında, buhar formundaki doğal gaz hacminin sadece 1/600'ünü kapladığı için taşınması oldukça ekonomiktir (Tabak, 2009; U.S. Department of Energy, 2004). Hem fiyatının dizel yakıtı göre daha uygun olması hem de hacimce dizel yakıtı göre daha az tüketiliyor olması LNG'yi yakıt tüketim maliyeti anlamında %25-30 avantajlı kılmaktadır (Enerdata, 2014). LNG yakıtlı ağır ticari araçların ilk satın alım maliyeti diğer sıvı yakıtlı araçlara göre daha yüksek olmasına rağmen yıllık sürüş mesafesi 100000 km'nin üzerinde olan araçların bir yıl içerisinde bu maliyeti amorti edebileceği öngörülmektedir (Hao, Liu, Zhao ve Li, 2016).

Literatürde, kara yolu ulaşımında kullanılan farklı tiplerdeki araçlarda LNG dönüşümü ile elde edilebilecek yakıt tasarrufu konusunda çalışmalar yer almaktadır. Song ve diğ., farklı sektörlerde kullanılan araçlar için bir dizi anket yoluyla dizel ve LNG yakıtlı araçların yakıt tüketim performanslarını derlemişlerdir (Song, Ou, Yuan, Yu ve Wang, 2017). Smajla vd. ticari kamyonlar için LNG kullanımını dizel ile kıyaslayarak



analiz etmişlerdir ve CO<sub>2</sub> emisyonu için LNG'nin daha avantajlı olduğunu vurgulamışlardır (Smajla ve diğ., 2019). Thiruvengadam ve diğ., sürekli olarak dur kalk yapan ve bu nedenle yakıt tüketimi açısından en verimsiz grup olarak belirledikleri çöp kamyonu filosundan 12 araç için yaptıkları araştırma sonucunda LNG yakıtlı araçların emisyon değerlerinin %82 daha düşük olduğunu raporlamışlardır (Thiruvengadam, Carder, Krishnamurthy ve Gautam, 2010). Zhang vd. farklı yakıt sistemine sahip yetmiş beş otobüse sürüş sırasında taşınabilir bir emisyon ölçüm cihazı kullanarak emisyon ölçümü yapmışlardır. Belirli bir güzergahta yapılan test sonuçlarına ortalama hızın 25 km/h'ten 15 km/h'e düşmesi ile dizel yakıtlı araçlarda %20-30 yakıt tasarrufu sağlanırken bu oranın doğal gazlı araçlarda %30-45 olduğu belirlenmiştir (Zhang ve diğ., 2014). Yan vd. yakıt olarak benzin kullanılan bir halk otobüsü için LNG dönüşümünü incelemişlerdir. Test sonuçlarına göre LNG dönüşümü yapılan aracın maksimum hızı dikkate alındığında %14,5 daha kötü performansa sahip olduğu görülmüştür (Yan, Xu, Liu ve Zheng, 2016). He ve diğ. LNG'ye alternatif olarak kok gazının kullanımını araştırmışlardır. Yapılan testler sonucunda kok gazı kullanılan araçlar ile LNG kullanılan araçlar hızlanma performanslarının hemen hemen eşit olduğunu tespit etmekle birlikte emisyon miktarında %32,4 oranında azalma olduğunu raporlamışlardır (He, Li, Wu ve Li, 2013). Ayrıca, Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nın yapmış olduğu çalışmada kamyon ve otobüs gibi taşımacılık ve ulaşım sektöründe kullanılan ağır ticari araçlar için LNG'nin dizel yakıtı ikame olabileceği gerçek yol testleri sonucunda ortaya konmuş ve tartışılmıştır ancak 2000'li yılların başında yapılan bu çalışmada dikkate alınan ağır ticari araçların günümüzde kullanımında olmadığına dikkat edilmelidir (U.S. Department of Energy, 1999; U.S. Department of Energy, 1996, 2000a, 2000b, 2001, 2004).

LNG motorlu araçların sahip olduğu dezavantajlardan birisi emme sisteminde LNG'nin gazlaştırılmasından kaynaklı düşük hacimsel verim sebebi ile zayıf bir performans gösterebileceğidir. Tang ve diğ. bu dezavantajı ortadan kaldırmak için emme havası beslemeli bir sistem kullanarak özellikle düşük hızlarda belirgin bir iyileşme elde etmişlerdir. Emme havası beslemeli sistem ile hızlanma süresini %14,7-30 oranında azaltmışlardır. Bir diğer dezavantaj ise doğal gazla çalışan motorlarda enjeksiyon ve ateşleme arasında yaşanan gecikmelerden dolayı araç performansın azalmasıdır (Tang ve diğ., 2016). Nwafor çift yakıtlı bir yanma sistemine sahip araçta enjeksiyon zamanlamasının primer yakıt olarak kullanılan doğal gazın performansa etkisini incelemiştir. Doğal gazın özellikle düşük devirlerde tutuşma gecikmelerine sebep olduğunu tespit etmişlerdir (Nwafor, 2000). Bir diğer çalışmada, Chen vd. farklı metan içeriğine sahip iki farklı LNG'nin performansını üç farklı sıkıştırma oranı

ve farklı ateşleme zamanlamalarını dikkate alarak test etmişlerdir. Sonuçlar, %99 metan içeriğine sahip LNG'nin %93 metan içeriğine sahip olana göre daha iyi bir performans ve yakıt ekonomisi sağladığını göstermiştir (Chen, Zhang, Xu, Zhang ve Liu, 2017).

Bu çalışmada, ülkemizde üretilen ve kullanılan dizel yakıtlı ağır ticari sınıf bir araca LNG dönüşümü uygulanarak gerekli performans testleri yapılmış ve kıyaslanmıştır. Euro VI normlarına uygun 338 kW gücünde özdeş motorlara sahip araçlar belirli bir güzergahta serbest yavaşlama, hızlanma ve yakıt tüketimi testlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar, yakıt ekonomisi ön planda olacak şekilde yorumlanmış ve LNG'nin, araçlarda yapılacak bazı iyileştirmeler ile hem performans hem de maliyet anlamında dizele ikame bir yakıt olabileceğini ortaya konmuştur.

### 3. Yöntem

Bu çalışma kapsamında yapılan testler ve elde edilen sonuçların sunulmasında araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Testler her iki araç için iki farklı şoför ile üç tekrarlı olacak şekilde yapılmış ve ortalamaları dikkate alınmıştır. Performans testleri kapsamında; serbest yavaşlama, tam gaz ile hızlanma, sabit hızda yakıt tüketimi ve gerçek yol koşullarında ortalama yakıt tüketimi testleri yapılmıştır. Kamyon ve tır gibi ağır ticari araçlar için dünya genelinde kabul edilmiş bir yakıt tüketimi standardı ve test prosedürü bulunmamaktadır. Aracın yakıt tüketimi; test güzergahı, yol profili, sürücü, çevre ve iklim şartları vb. gibi birçok değişken parametre ile doğrudan ilişkili olduğu için tüm araç üreticileri bu testleri kendi oluşturduğu prosedürlere göre yapmaktadır. Serbest yavaşlama testi, hızlanma testi ve sabit hızda yakıt tüketimi test prosedürleri, SAE (Society of Automobile Engineers) standartları doğrultusunda oluşturulmuş, uluslararası geçerlilikteki bilgilere dayanmaktadır. Gerçek yol koşulunda yakıt tüketim testi belirli bir güzergahta en az iki araç ile karşılaştırmalı olarak yapılan ve çevre, iklim şartları, sürücü etkisi ve yol şartları gibi dış etkenleri en aza indirerek iki aracın yakıt tüketimi parametrelerinin birbiriyle karşılaştırıldığı bir uygulamadır. Buradaki amaç, iki aracı aynı seviyeye getirip, aynı şartlarda test ederek yakıt tüketimi verilerini birbiriyle karşılaştırmaktır. Testlere ait tüm detaylar Tablo 1 ile verilmiştir.

Dizel yakıtlı araçta, aracın anlık ve kümülatif yakıt tüketimini ölçebilen AIC-6004 marka/model bir akış ölçer kullanılmıştır. LNG aracın yakıt ölçümü ise doldur-boşalt metodu ile yapılmıştır. Tam dolu depo ile teste başlayıp, test sonunda tekrar doldurularak kilometre başına yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Araçta birbirinden bağımsız çift yakıt deposu bulunmaktadır. Birinci depo sadece test esnasında yakıt tüketimini hesaplamak için kullanılmıştır. Diğer yakıt deposu ise, test aralarındaki ve test dışı güzergahlarda aracın

hareketini sağlamak için kullanılmıştır. Çekiciler ile ilgili fiziki ve teknik detaylar Tablo 2 ile verilmiştir. Testler sırasında kullanılan çekicilerin fiziki özellikleri ve ölçüleri özdeştir. Her ikisi de daha önce kullanılmamış yeni araçlar olup lastik boyutları, lastik basıncı ve lastik sınıfı aynıdır. Her iki çekici de spoiler ve yan eteklere sahipken LNG yakıt tankının tasarım farklılığı sebebiyle LNG yakıtlı çekicide yan etekler kullanılamamıştır. Araçların toplam ağırlıkları çekici ağırlıklarındaki farklılığı dorse ağırlığı ile tolere ederek

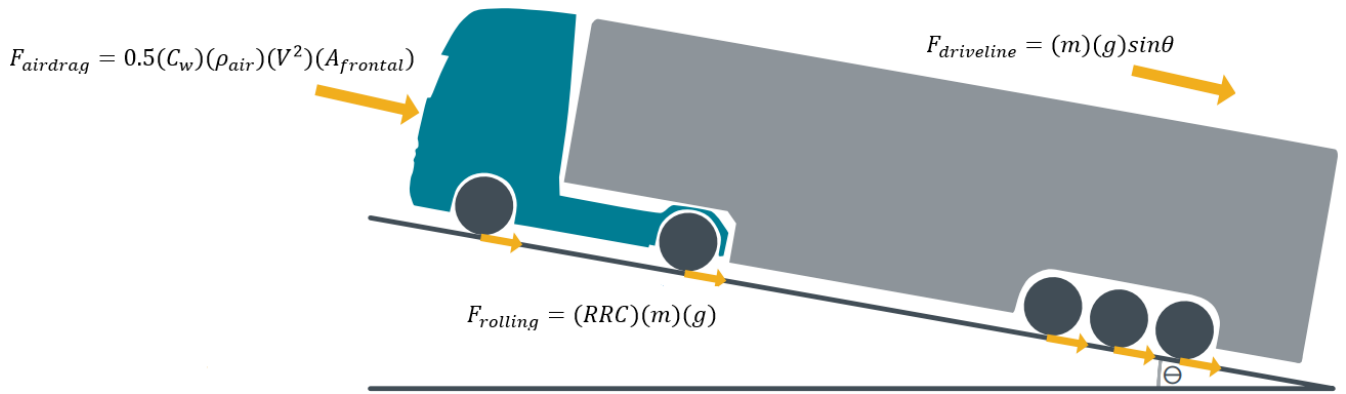
41 ton olarak ayarlanmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında dikkate alınan ön testler sırasında dizel yakıtlı çekici ile LNG yakıtlı çekicinin 12 ileri otomatik şanzımanı ve 12,9-0,7 olan şanzıman oranı testlerin mümkün olduğunca aynı şartlarda yapılması açısından sabit tutulmuştur. İki farklı motorun dikkate alınması sebebi ile ortaya çıkan farklılıklardan birisi torktur. Her ikisi de 1900 rpm devirde 338 kW güç üreten motorların maksimum torku dizel çekici 2150 Nm iken LNG çekici için 2000 Nm'dir.

Tablo 1. Test Matrisi

Test Adı	Test Koşulları	Testin Varyasyonu	Testin Yapılışı	Referans Test Standart
Serbest yavaşlama testi	- Test parkuru; araç istikameti ve yanal yönlerde %1'den az eğimde olması gereklidir. - Test zemini; kuru, temiz beton veya asfalt zemin olmalıdır. - Hava koşulları; yağışlı ve rüzgârlı havada test yapılamaz. Rüzgâr, 3m/s hızı geçmemelidir. - Test, 850 metre rakımın üzerinde yapılmamalıdır.	Dizel çekici, A sürücüsü ile 3 gidiş, 3 geliş yönünde LNG çekici, B sürücüsü ile 3 gidiş, 3 geliş yönünde  Dizel çekici, B sürücüsü ile 3 gidiş, 3 geliş yönünde LNG çekici, A sürücüsü ile 3 gidiş, 3 geliş yönünde	85 km/h sabit hızda ilerlerken vites boşa alınarak 20 km/h hıza kadar serbest yavaşlamaya maruz bırakılan araçların her 5 km/h hız düşüşünde zaman (s) ve mesafe (m) bilgileri kaydedilir.	SAE J 1263_201003
Tam gazda hızlanma testi	- Test parkuru; araç istikameti ve yanal yönlerde %1'den az eğimde olması gereklidir. - Test zemini; kuru, temiz beton veya asfalt zemin olmalıdır. - Hava koşulları; yağışlı ve rüzgârlı havada test yapılamaz. Rüzgâr, 3m/s hızı geçmemelidir. - Test, 850 metre rakımın üzerinde yapılmamalıdır.	Dizel çekici, A sürücüsü ile 3 gidiş, 3 geliş yönünde LNG çekici, B sürücüsü ile 3 gidiş, 3 geliş yönünde  Dizel çekici, B sürücüsü ile 3 gidiş, 3 geliş yönünde LNG çekici, A sürücüsü ile 3 gidiş, 3 geliş yönünde	Araç, test için belirlenen noktadan 0 km/h hızdan 85 km/h hıza kadar tam gaz (varsa kick-down) yaparak hızlandırılır. Zaman (s), hız (km/h), mesafe (m) ve ivme (m/s <sup>2</sup> ) bilgileri kaydedilir.	SAE J 1491_200607
Sabit hızda yakıt tüketim testi	- Test parkuru; araç istikameti ve yanal yönlerde %1'den az eğimde olması gereklidir. - Test zemini; kuru, temiz beton veya asfalt zemin olmalıdır. - Hava koşulları; yağışlı ve rüzgârlı havada test yapılamaz. Rüzgâr, 3m/s hızı geçmemelidir. - Test, 850 metre rakımın üzerinde yapılmamalıdır.	Dizel çekici, A sürücüsü ile 3 gidiş, 3 geliş yönünde LNG çekici, B sürücüsü ile 3 gidiş, 3 geliş yönünde  Dizel çekici, B sürücüsü ile 3 gidiş, 3 geliş yönünde LNG çekici, A sürücüsü ile 3 gidiş, 3 geliş yönünde	Araç, test için belirlenen hıza (60 km/h, 70 km/h ya da 80 km/h) çıkarılır. Test için belirlenmiş başlangıç ve bitiş noktaları arasında, belirlenen sabit hızda gidilir. Hız (km/h) ve yakıt tüketimi (L ya da kg) verileri kaydedilir.	SAE J 1526_201509
Gerçek yol koşulunda yakıt tüketimi testi	- Test parkuru; yol şartlarına göre uzman kişiler tarafından belirlenmiştir. - Test zemini; kuru, temiz beton veya asfalt zemin olmalıdır. - Hava koşulları; hava sıcaklığı 10-30°C, rüzgâr hızı maksimum 5 m/s, nem seviyesi ≤%95 ve atmosferik basınç 1 bar ± %7,5 olduğu durumlarda test yapılabilir. Hava durumu düzenli takip edilmeli, yağmurlu havada test yapılmamalıdır.	1. test: Dizel çekici; A sürücüsü, 1. Dorse, LNG çekici; B sürücüsü, 2. dorse 2. test: Dizel çekici; B sürücüsü, 1. Dorse, LNG çekici; A sürücüsü, 2. dorse 3. test: Dizel çekici; B sürücü, Y dorse, LNG çekici; A sürücü, X dorse 4. test: Dizel çekici; A sürücü, Y dorse, LNG çekici; B sürücü, X dorse	Test, belirlenen rotada gidiş ve geliş olarak çift yönlü gerçekleştirilmektedir. Dış etkenlerin yakıt tüketimine etkisini minimize etmek için araçlarda dorse ve sürücü değişiklikleri yapılır. Zaman (s), hız (km/h), yakıt tüketimi (L ya da kg) verileri kaydedilir.	SAE J 1526_201509

Tablo 2. Testlerde Kullanılan Araçların Teknik Özellikleri (Erçelik, 2021)

Araç özellikleri	4×2 Dizel yakıtlı çekici	4×2 LNG yakıtlı çekici
Motor	FPT Cursor 11 (Step-C)	13 Litre NG (Step-D)
Emisyon seviyesi	Euro VI	Euro VI
Maximum güç	460 PS (338 kW) – (1900 rpm)	460 PS (338 kW) – (1900 rpm)
Maximum tork	2150 Nm	2000 Nm
Tork aralığı	1050-1550 rpm	1200-1500 rpm
Şanzıman tipi	12 ileri otomatik	12 ileri otomatik
Şanzıman oranı	12,9 – 0,7	12,9 – 0,7
Diferansiyel oranı	3,08:1	3,40:1
Çekici lastik boyutları	315 / 70 / R22.5	315 / 70 / R22.5
Çekici lastik basıncı	130 psi	130 psi
Çekici lastik sınıfı	B	B
Çekici ağırlığı	7900 kg	8870 kg
Çekilen (dorse) ağırlığı	33100 kg	32130 kg
Toplam ağırlık	41000 kg	41000 kg
Kabin tipi – tavan	Yataklı - Yüksek Tavan	Yataklı - Yüksek Tavan
Spoiler	Var	Var
Yan uzatmalar	Var	Var
Yan etek	Var	Yok



Şekil 2. Araca Etki Eden Kuvvetler (The International Council on Clean Transportation, 2018)

### 3.1. Serbest Yavaşlama Testi

Serbest yavaşlama testi sırasında dikkate alınması gereken parametreler aerodinamik sürtünme kuvveti, yuvarlanma direnci, yolun eğim derecesi ve atalet kuvvetleridir. Belirli bir hızda ilerlerken serbest yavaşlamaya maruz bırakılan bir araca etki eden kuvvetlerin yuvarlanma ve aerodinamik dirençlerden kaynaklandığı kabul edilmektedir (Ligterink ve diğ., 2015). Bu tanıma uygun olarak araç üzerine etki eden kuvvetler şematik olarak Şekil 2 ile kuvvet dengesi ise Denklem (1) ve (2) ile verilmiştir.

$$(m + m_r)a = F_{rolling} + F_{driveline} + F_{airdrag} \quad (1)$$

$$(m + m_r)a \cong F_0 + F_1V + F_2V^2 \quad (2)$$

Denklem (2)'de;

$m$ =aracın kütlesi [kg]

$m_r$ =aracın dönme ataleti ( $I_{moment}/R^2$ ) [kg]

$a$ =hızlanma ( $a=dv/dt$ ) [ $m/s^2$ ]

$F$  =ilgili kuvvetler [N]

$V$  =hız [km/h]

$F_0$ =yol yükü katsayısı [N]

$F_1$ = yol yükü katsayısı [N/(km/h)]

$F_2$ =yol yükü katsayısı [N/(km/h)<sup>2</sup>]

olarak kullanılmıştır. Denklem (2)'de yer alan  $F_0$  aktarma organları ve yuvarlanma direnci ile ilişkilidir.  $F_1$  ara hızlardaki detaylara bağlı olarak değişebilen negatif veya pozitif bir katsayıdır.  $F_2$  ise hava sürüklenmesi ile ilişkilidir. Denklem (1)'de yer alan hava sürtünmesi ile araca etki eden kuvvet Denklem (3) ile verilmiştir.

$$F_{airdrag} = 0.5(C_w)(\rho_{air})(V^2)(A_{frontal}) \quad (3)$$

Denklem (3)'te;

$C_w$ =aracın aerodinamik sürtünme katsayısı

$\rho_{air}$ =havanın yoğunluğu [ $kg/m^3$ ]

$V$  =hız [m/s]

$A_{frontal}$ =aracın ön yüz alanı [m<sup>2</sup>]

olarak kullanılmıştır. Üzerine binen yük sebebiyle lastiklerin sahip olduğu yuvarlanma direnci ( $RRC$ ) aracın hareketine zıt yönde bir kuvvet uygular. Bu kuvvet Denklem (4) ile ifade edilmiştir.

$$F_{rolling} = (RRC)(m)(g) \quad (4)$$

Denklem (4)'te;

$RRC$ =lastiklerin yuvarlanma direnci

$m$ =aracın kütlesi [kg]

$g$ =yer çekimi ivmesi [m<sup>2</sup>/s]

85 km/h sabit hızda ilerlerken vites boşa alınarak 20 km/h hıza kadar serbest yavaşlamaya maruz bırakılan araçların her 5 km/h hız düşüşünde zaman ( $t$ ) ve mesafe ( $x$ ) bilgileri kaydedilmiştir.

### 3.2. Hızlanma Testi

Bu testin amacı dizel ve LNG yakıtlı araçların kalkıştan (0 km/h) 85 km/h hıza belirlenen güzergâhta tam gazda hızlanma performansının incelenmesidir. Hızlanma testleri belirlenen güzergâhta yol eğiminin %1'in altında olduğu kuru ve asfalt bir yolda yapılmıştır. Rüzgâr hızı prosedürlere uygun şekilde 3 m/s'nin altındadır. Hızlanma testine geçilmeden önce araçlar önceden çalıştırılarak motor çalışma sıcaklığına ulaştırılmıştır. Serbest yavaşlama testlerinde olduğu gibi testler gidiş ve geliş yönlü olmak üzere üçer kez tekrar edilmiştir. Her iki aracın 0 km/h hızdan tam gazda 85 km/h hıza ulaşmaya kadar her 5 km/h hız artışında zaman ( $t$ ) ve mesafe ( $x$ ) bilgileri kaydedilmiştir.

### 3.3. Sabit Hızda Yakıt Tüketim Testi

Sabit hızda yakıt tüketimi testleri yol eğiminin %1'in altında olduğu bir rotada 60, 70 ve 80 km/h sabit hızlarda yapılmıştır. Prosedürlere uygun olarak rüzgâr hızının 3 m/s'nin altında olduğu yağışsız hava şartlarında yapılan testlerden önce araçlar normal motor sıcaklığına ulaşmaya kadar 20-30 dakika çalıştırılmıştır. Sabit hızda 3 km uzunluğunda bir güzergâhta gidiş-geliş yönlü yapılan testler üçer kez tekrar edilmiştir.

### 3.4. Gerçek Yol Koşulunda Yakıt Tüketim Testi

Dizel ve LNG yakıtlı çekicilerin yakıt tüketimi performanslarını gerçekçi bir şekilde kıyaslamak için yapılan bu testte İzmir-Aydın arasında gidiş ve dönüş dâhil olmak üzere toplam uzunluğu 263,4 km bir güzergâhta üçer tekrarlı testler yapılmıştır. Söz konusu güzergâhın 164,3 km'si otoyol, 44,4 km'si kırsal yol ve 54,7 km'si şehir içi yollardan oluşmaktadır. Diğer testlerde olduğu prosedüre uygun olarak yürütülen bu testlerde de araç motorları önceden ısıtılmıştır. Seçilen güzergâhta hava sıcaklığı 10-30°C arasında ve yağışın olmadığı bir günde maksimum rüzgâr hızı 5 m/s olarak

ölçülmüştür. Dış etkenlerin yakıt tüketimine etkisini minimize etmek için iki farklı şoför dört farklı günde iki farklı dorse tipi ile bu testleri yapmışlardır.

## 4. Bulgular

### 4.1 Serbest Yavaşlama Testinin Değerlendirilmesi

Dizel ve LNG yakıtlı çekicilerin 85 km/h hızda ilerlerken 20 km/h hıza kadar serbest yavaşlamaya maruz bırakıldığı testlere ait ortalama veriler Tablo 3 ile verilmiştir. Tablo 3'te yer alan değerler göz önüne alındığında boyutları ve kabin tasarımları aynı olan her iki aracın benzer bir yavaşlama karakteri gösterdiğinden söz etmek mümkündür. Araçların sürüklenme süreleri ( $t$ ) ve mesafeleri ( $x$ ) belirlendikten sonra yuvarlanma direncinin ( $RRC$ ) ve aerodinamik sürtünme katsayısının ( $C_w$ ) belirlenebilmesi için Denklem (2)'de yer alan  $F_0$ ,  $F_1$  ve  $F_2$  yük katsayılarının hesaplanması gerekmektedir. Denklem (1)-(4) kullanılarak ve Tablo 3'te verilen yavaşlama karakteristikleri dikkate alınarak öncelikle yük katsayıları sonrasında ise yuvarlanma direnci ( $RRC$ ) ve aerodinamik sürtünme katsayısı ( $C_w$ ) hesaplanmıştır. Söz konusu katsayılar Tablo 4 ile verilmiştir. Hesaplamalarda hava yoğunluğu  $\rho_{air}=1.225$  kg/m<sup>3</sup> ve araçların ön yüz alanı  $A_{frontal}=10$  m<sup>2</sup> olarak dikkate alınmıştır.

Tablo 3. Serbest Yavaşlama Test Verileri (Erçelik, 2021)

$V$ [km/h]	Dizel çekici		LNG çekici	
	$t$ [s]	$x$ [m]	$t$ [s]	$x$ [m]
85	0,0	0,0	0,0	0,0
80	15,6	352,1	15,4	350,4
75	32,1	694,6	31,7	689,8
70	49,6	1074,2	48,9	1068,5
65	68,0	1418,0	67,2	1412,4
60	87,6	1751,7	86,5	1745,1
55	108,1	2099,7	106,9	2090,9
50	129,8	2409,2	128,5	2400,3
45	152,5	2703,4	151,1	2692,6
40	176,4	2984,1	174,9	2972,2
35	201,2	3229,1	199,7	3216,4
30	227,1	3461,7	225,6	3445,0
25	253,9	3669,9	252,5	3652,8
20	281,5	3838,4	280,2	3818,7

Tablo 4'te yer alan  $F_1$  katsayısı, test yöntemine ve testin yapıldığı yol koşullarına bağlı olarak hız profilinin düzenli şekilde azalması nedeniyle her iki araçta da ihmal edilmiştir. Ayrıca araç tipine ve kullanılan lastiğin modeline bağlı olarak yuvarlanma direnci ( $RRC$ ) değişiklik göstermektedir. Bu çalışma kapsamında dikkate alınan ağır ticari sınıf bir araçta kullanılan B sınıfı lastikler için yuvarlanma direnci  $0,0041 \leq RRC \leq 0,0050$  olmalıdır (European Commission, 2016). Araçların yuvarlanma direnci katsayılarının dizel araç için  $RRC=0,00488$ , LNG araç için ise  $RRC=0,00485$  olduğu görülmektedir.  $RRC$  değerleri kamyon ve otobüslerde kullanılan C3 tipi

lastiklerin B enerji verimliliği sınıfı aralığındadır. Araçlar aynı yol koşullarında, aynı yükte ve aynı enerji verimliliği sınıfındaki lastikler kullanılarak test edilmiştir. Bu yüzden iki aracın yuvarlanma direnci katsayıları birbirine oldukça yakındır. Ayrıca, literatürde yer alan çalışmalarda aerodinamik sürtünme katsayısının ( $C_w$ ) binek bir araç için  $0,25 \leq C_w \leq 0,50$  mertebesinde olduğu, ağır ticari araçlar için ise daha dik ve büyük bir ön yüz alanına sahip oldukları için  $C_w > 0,50$  olması gerektiği belirtilmiştir [35]. Tablo 4'ten görüldüğü üzere hesaplanan  $RRC$  ve  $C_w$  değerleri ilgili mertebeleri doğrulamaktadır. Araçların aerodinamik sürtünme katsayıları ( $C_w$ ) incelendiğinde dizel çekicinin daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Yük, Yuvarlanma Direnci ve Aerodinamik Sürtünme Katsayıları (Erçelik, 2021)

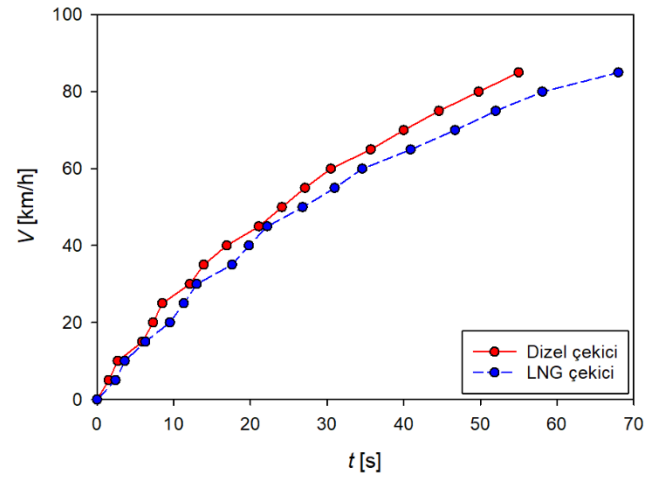
Katsayılar	Dizel çekici	LNG çekici
$F_0$	1962	1950
$F_1$	0	0
$F_2$	0,256	0,266
$RRC$	0,00488	0,00485
$C_w$	0,542	0,563

Bu durumun muhtemel sebebi dizel yakıt tankının yerine LNG tankının yerleştirilmesinden dolayı mecburi tasarım farklılığıdır. Tablo 2'de de belirtildiği üzere çekicinin her iki yanında bulunan ve yan etek olarak adlandırılan dizel yakıt tankını kapatan parçaların LNG tankının daha büyük olmasından dolayı kullanılamaması araç aerodinamiğini olumsuz yönde etkilemiştir.

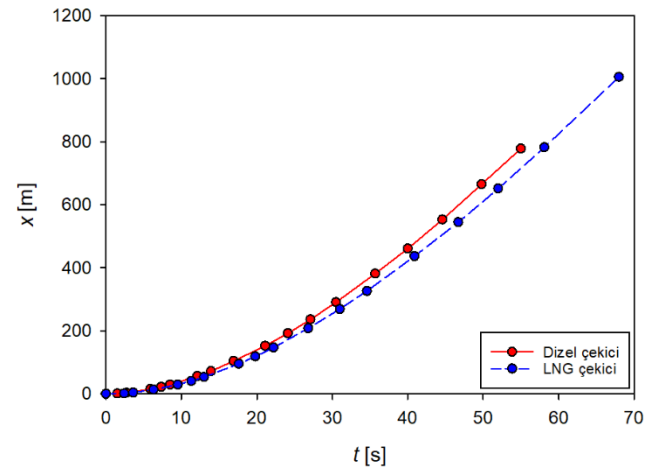
#### 4.2. Hızlanma Testinin Değerlendirilmesi

Önceden motor çalışma sıcaklığına ısıtılan dizel ve LNG yakıtlı araçların kalkıştan tam gaz ile 85 km/h hıza ulaşmaya kadar 5 km/h aralıklarla kaydedilmiş verileri Şekil 3 ve Şekil 4 ile gösterilmektedir. 0'dan 85 km/h hıza ulaşma süresi dizel araç için 55 saniye, LNG yakıtlı araç için ise 68 saniye sürmüştür (Şekil 3). Bu sırada kat edilen mesafeler ise dizel ve LNG yakıtlı araçlar için sırası ile 778,2 m ve 1005,5 m'dir (Şekil 4). Bu verilerden anlaşılacağı üzere LNG yakıtlı çekicinin hızlanma performansı dizel olana göre %24 daha düşüktür. Konvansiyonel bir dizel motor ile çalışan bir çekicinin motor, yakıt sistemi ve yakıt deposu değiştirilerek LNG dönüşümü sonucu elde edilen ve kıyaslaması yapılan bu ön veriler ile LNG yakıtlı aracın performansının artırılması için diğer bileşenlerin de iyileştirilmesi gerekliliği anlaşılmaktadır.

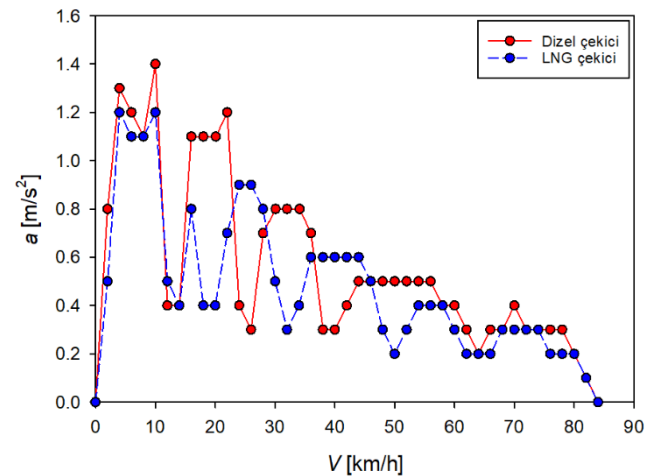
Hızlanma testi kapsamında dizel ve LNG yakıtlı araçların ivme-hız ilişkileri Şekil 5 ile verilmiştir. Şekil 5'den görüldüğü üzere LNG yakıtlı aracın ivme verileri Şekil 3 ve Şekil 4 ile gösterilmiş olan verileri doğrular niteliktedir. LNG yakıtlı araç kalkış anında dizel yakıtlı araçla neredeyse başa baş bir performans göstermiştir ancak 10-30 km/h hız aralığında LNG yakıtlı aracın ivmesi dizel yakıtlı araçtan oldukça geride kalmıştır.



Şekil 3. Hızlanma Testi Sonuçlarına Göre Araçların Hız-Zaman Verileri



Şekil 4. Hızlanma Testi Sonuçlarına Göre Araçların Mesafe-Zaman Verileri



Şekil 5. Hızlanma Testi Sonuçlarına Göre Araçların İvme-Hız Verileri

### 4.3. Sabit Hızda Yapılan Yakıt Tüketim Testinin Değerlendirilmesi

Testler sırasında kullanılan dizel ve LNG yakıtlı çekicilerin 3 km uzunluğunda bir test güzergâhında üç farklı sabit hızda tükettikleri ortalama yakıtlar ve maliyetleri Tablo 5 ile verilmiştir. Tablo 5'ten anlaşılacağı üzere yakıtlar için birim fiyatlandırma dizel için litre bazında, LNG için ise kilogram bazındadır. Bu çalışmanın yapıldığı 2020 yılı ağustos ayında petrol varil fiyatı yaklaşık 45 dolar, dolar/TL paritesi 7,32, dizelin birim fiyatı 6,40 TL/litre, LNG'nin birim fiyatı ise 5,18 TL/kg'dır. Tablo 5 ve Tablo 6 ile sunulan yakıt maliyetleri ise 2023 Kasım ayı fiyatları dikkate alınarak hazırlanmıştır. Bu dönem için güncel petrol varil fiyatı yaklaşık 80 dolar, dolar/TL paritesi 29,93, dizelin birim fiyatı 39,98 TL/litre, LNG'nin birim fiyatı ise 32,69 TL/kg'dır.

Tablo 5. Sabit Hızda Ortalama Yakıt Tüketimleri

	Dizel çekici	LNG çekici
60 km/h	21,7 L/100 km	19,2 kg/100 km
	21,2 L/100 km	18,5 kg/100 km
	21,0 L/100 km	18,6 kg/100 km
	20,8 L/100 km	19,1 kg/100 km
	20,3 L/100 km	18,9 kg/100 km
	21,0 L/100 km	19,5 kg/100 km
Standart sapma	0,42 L/100 km	0,34 kg/100 km
Ortalama Maliyet	21,0 L/100 km 839,58 TL	19,0 kg/100 km 621,11 TL
70 km/h	24,0 L/100 km	20,1 kg/100 km
	22,7 L/100 km	20,5 kg/100 km
	23,2 L/100 km	20,4 kg/100 km
	23,6 L/100 km	20,8 kg/100 km
	23,6 L/100 km	21,4 kg/100 km
	23,3 L/100 km	21,1 kg/100 km
Standart sapma	0,40 L/100 km	0,43 kg/100 km
Ortalama Maliyet	23,4 L/100 km 935,53 TL	20,7 kg/100 km 676,68 TL
80 km/h	26,2 L/100 km	22,8 kg/100 km
	26,0 L/100 km	22,6 kg/100 km
	25,5 L/100 km	22,2 kg/100 km
	25,9 L/100 km	22,9 kg/100 km
	25,4 L/100 km	22,4 kg/100 km
	25,8 L/100 km	22,3 kg/100 km
Standart sapma	0,27 L/100 km	0,26 kg/100 km
Ortalama Maliyet	25,8 L/100 km 1034,48 TL	22,5 kg/100 km 735,53 TL

### 4.4. Gerçek Yol Koşullarında Yapılan Yakıt Tüketim Testinin Değerlendirilmesi

Dizel ve LNG yakıtlı araçların gerçekçi bir yakıt tüketimi kıyaslaması için İzmir-Aydın arasında üç farklı

kısımdan oluşan ve gidiş-geliş toplam uzunluğu 263,4 km olan bir güzergâh tercih edilmiştir. Tercih edilen güzergâhın 164,3 km'si otoyol olup araçlar bu yolda 80 km/h bir ortalama hızla ilerlemişlerdir. Kırsal yol olarak değerlendirilecek ve uzunluğu 44,4 km olan ikinci parçada ise araçlar ortalama 60 km/h ortalama hızla ilerlemişlerdir. İzmir'den kalkış, Aydın'a varış ve tekrar İzmir'e dönüş kısmında ise toplamda 54,7 km'lik bir yol şehir içi olarak değerlendirilmekte olup bu kısımda araçlar 40 km/h ortalama hız ile ilerlemişlerdir. Farklı şoförler ile iki farklı dorse kullanılarak üçer kez tekrar edilen testler dört farklı günde yapılmıştır. Trafik yoğunluğunun değiştiği bu dört farklı güne ait sonuçların ortalaması Tablo 6 ile verilmiştir. Tablo 6'dan görüldüğü üzere dört farklı günde yapılan testlerin ortalamasına göre yakıtların birim maliyetleri dikkate alındığında LNG yakıtlı araç 1003,58 TL tutarında bir yakıtla belirlenen güzergâhı kat ederken dizel araç 2 aynı güzergâhı 1359,32 TL ile kat etmiştir. Gerçek yol koşulları dikkate alınarak yapılan bu testler sonucunda LNG yakıtlı araç ile %27 tasarruf sağlanmıştır.

Tablo 6. Gerçek Ortalama Yakıt Tüketimleri

Test	Dizel çekici	LNG çekici
Test-1	33,5 L/100 km	29,8 kg/100 km
Test-2	35,6 L/100 km	31,5 kg/100 km
Test-3	34,0 L/100 km	31,0 kg/100 km
Test-4	32,7 L/100 km	30,3 kg/100 km
Standart sapma	1,07 L/100 km	0,65 kg/100 km
Ortalama Maliyet	34,0 L/100 km 1359,32 TL	30,7 kg/100 km 1003,58 TL

### 5. Tartışma

Dizel yakıtlı ağır ticari sınıfta yer alan bir çekicinin LNG dönüşümü yapılarak elde edilen sonuçlar dikkate alındığında dizel yakıtlı ivmelenme açısından LNG yakıtlı araca göre daha performanslı olduğu anlaşılmıştır. Sabit hızda yapılan performans testlerinde 100 km için ortalama yakıt tüketim maliyetleri incelendiğinde ise her ne kadar LNG yakıtlı aracın ivmelenme performansı dizele göre daha düşük ise de yakıt maliyeti anlamında kayda değer bir avantajı vardır. LNG yakıtlı araç dikkate alınan üç farklı sabit hızda %27-29 mertebesinde tasarruf sağlamıştır. Ancak, testler sırasında kullanılan LNG yakıtlı çekici için şanzıman oranı ve yazılımı değiştirilmemiştir. Dizel yakıtlı araçla aynı şanzıman tipi ve şanzıman oranına sahip LNG yakıtlı çekicinin şanzıman yazılımı optimize edilerek ivmelenme performansının iyileştirilebileceği ve bununla beraber daha fazla yakıt tasarrufu sağlanacağı öngörülmektedir. Literatürde yer alan çalışmalar dikkate alındığında; özellikle taşımacılık sektöründe kullanılan LNG yakıtlı ağır ticari araçların dizel yakıtlı araçlara göre %25-30 mertebesinde yakıt tasarrufu sağladığı, bununla birlikte LNG'ye dönüşüm

veya LNG yakıtlı bir aracın yeniden satın alınması maliyetlerinin bu sayede amorti edilebileceği hatırlanmalıdır (Enerdata, 2014; Hao ve diğ., 2016).

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada, dizel yakıtlı ağır ticari sınıfta yer alan bir çekicinin LNG dönüşümü yapılarak performans kıyaslaması yapılmıştır. Performans kıyaslaması serbest yavaşlama, tam gaz hızlanma, sabit hız yakıt ortalama yakıt tüketimi ve gerçek yol koşullarında ortalama yakıt tüketimi testleri dikkate alınarak yapılmıştır. Serbest yavaşlama performansları değerlendirilerek yapılan kıyaslama sonucunda her iki aracın ihmal edilebilir bir fark ile benzer aerodinamik sürtünme katsayına sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın, sadece motor, yakıt sistemi ve yakıt deposu değiştirilmiş olan LNG yakıtlı çekicinin hızlanma performansının dizel araca göre düşük olduğu görülmüştür. Uzun menzilli gerçek yol koşullarının dikkate alındığı testlerde ise LNG yakıtlı araç %27 oranında daha düşük bir yakıt maliyeti ile belirtilen mesafeyi kat etmiştir. Bu ön sonuçlar ile ilk satın alım %30 daha pahalı olan LNG yakıtlı araçların uzun mesafe kullanılmaları durumunda satın alınabilir ikame bir araç olduğunu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, daha düşük emisyon salınımına sebebiyet veren LNG yakıtlı araçların diğer petrol türevli yakıt kullanan araçlar yerine tercih edilmesi hem enerjinin etkin kullanımı hem de çevresel faktörler açısından bir avantaj olacaktır. İlerleyen aşamalarda özellikle LNG yakıtlı motorun maksimum tork aralığına daha uygun bir şanzıman yazılımının adaptasyonu ile LNG yakıtlı araçların performans anlamında dizel yakıtlı araçları yakalaması hedeflenmektedir.

## Teşekkür

Yazarlar bu çalışmaya olan destekleri için BMC Otomotiv Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'ne teşekkür etmektedir.

## Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Bekir Barış ERÇELİK, bilimsel yayın araştırması, deneylerin yapılması ve sonuçların hesaplanması; Bahadır DOĞAN, metodoloji, makalenin oluşturulması ve yazılması aşamalarında katkı sağlamışlardır.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

Arteconi, A., Brandoni, C., Evangelista, D. ve Polonara, F. (2010). Life-cycle greenhouse gas analysis of LNG as a heavy vehicle fuel in Europe. *Applied Energy*, 87(6), 2005-2013.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.11.012>

Atabani, A. E., Badruddin, I. A., Mekhilef, S. ve Silitonga, A. S. (2011). A review on global fuel economy standards, labels, and technologies in the transportation sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4586-4610. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.092>

Chen, Z., Zhang, F., Xu, B., Zhang, Q. ve Liu, J. (2017). Influence of methane content on a LNG heavy-duty engine with high compression ratio. *Energy*, 128, 329-336. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.039>

Enerdata. (2014). Effect of price reforms on the demand of LNG in transport in China. Erişim adresi: <https://www.enerdata.net/publications/executive-briefing/china-lng-price-reforms-effets.html>

Engerer, H. ve Horn M. (2010). Natural gas vehicles: An option for Europe. *Energy Policy*, 38(2), 1017-1029. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.054>

Erçelik, B. B. (2021). *Ağır Ticari Araçlarda Dizel Yakıt Yerine Sivilaştırılmış Doğal Gaz (LNG) Kullanımının Deneysel Olarak İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

European Commission. (2013). *Clean Power for Transport: A European alternative fuels strategy*. European Commission, Brussels. Erişim adresi: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0017:FIN:EN:PDF>

European Commission. (2016). *Review study on the Regulation (EC) No 1222/2009 on the labelling of tyres*. Erişim adresi:

[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Study%20in%20support%20of%20the%20Review%20of%20the%20Tyre%20Labelling%20Regulation\\_final.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Study%20in%20support%20of%20the%20Review%20of%20the%20Tyre%20Labelling%20Regulation_final.pdf)

European Commission. (2020). *Communication from the commission to the European Parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of regions on an EU strategy for liquefied natural gas and gas storage*. European Commission, Brussels. Erişim adresi: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ac9cd214-53c6-11ea-aece-01aa75ed71a1/language-en>

Hao, H., Liu, Z., Zhao, F. ve Li, W. (2016). Natural gas as vehicle fuel in China: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 521-533. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.015>

- He, F., Li, Y. M., Wu, H. B. ve Li, H. (2013). A Performance Study of Coke Oven Gas Vehicle. *Advanced Materials Research*, 724-725, 1201-1205. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.724-725.1201>
- Ligterink, N. E., Mensch, P., Cuelenaere, R. F. A., Hausberger, S., Leitner, D. ve Silberholz, G. (2015). *Correction algorithms for WLTP chassis dynamometer and coast-down testing*. Erişim adresi: [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/wltp\\_correction\\_algorithm\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/wltp_correction_algorithm_en.pdf)
- Moriarty, P. ve Honnery, D. (2016). Global Transport Energy Consumption. İçinde *Alternative Energy and Shale Gas Encyclopedia* (1., ss. 651-656). New Jersey, USA: John Wiley ve Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119066354.ch61>
- NGV Global. (2019). Current Natural Gas Vehicle Statistics. Erişim adresi: <https://www.iangv.org/current-ngv-stats/>
- Nwafor, O. M. I. (2000). Effect of advanced injection timing on the performance of natural gas in diesel engines. *Sadhana*, 25(1), 11-20. <https://doi.org/10.1007/bf02703803>
- Official Journal of the European Union. (2014). *Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure*. Official Journal of the European Union. Erişim adresi: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=EN>
- Osorio-Tejada, J. L., Llera-Sastresa, E. ve Scarpellini, S. (2017). A multi-criteria sustainability assessment for biodiesel and liquefied natural gas as alternative fuels in transport systems. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 42, 169-186. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2017.02.046>
- Smajla, I., Karasalihović Sedlar, D., Drljača, B. ve Jukić, L. (2019). Fuel Switch to LNG in Heavy Truck Traffic. *Energies*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/en12030515>
- Song, H., Ou, X., Yuan, J., Yu, M. ve Wang, C. (2017). Energy consumption and greenhouse gas emissions of diesel/LNG heavy-duty vehicle fleets in China based on a bottom-up model analysis. *Energy*, 140, 966-978. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.011>
- Tabak, J. (2009). *Natural Gas and Hydrogen*. New York, USA: Infobase Publishing.
- Tang, Q., Fu, J., Liu, J., Zhou, F., Yuan, Z. ve Xu, Z. (2016). Performance improvement of liquefied natural gas (LNG) engine through intake air supply. *Applied Thermal Engineering*, 103, 1351-1361. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.05.031>
- The International Council on Clean Transportation. (2018). *Fuel consumption testing of tractor trailers in the European Union and the United States*. European Commission. Erişim adresi: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU\\_HDV\\_Testing\\_BriefingPaper\\_20180515a.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU_HDV_Testing_BriefingPaper_20180515a.pdf)
- Thiruvengadam, A., Carder, D. K., Krishnamurthy, M. ve Gautam, M. (2010). Comparison of Regulated and Unregulated Exhaust Emissions from a Fleet of Multi-Fuel Solid Resource Collection Vehicles. *ASME 2010 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference*, 139-147. San Antonio, Texas, USA. <https://doi.org/10.1115/icef2010-35053>
- United Nations. (2017). *World Population Prospects*. United Nations. Erişim adresi: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017\\_Volume-I\\_Comprehensive-Tables.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_Volume-I_Comprehensive-Tables.pdf)
- U.S. Department of Energy. (1999). *Using LNG as a Fuel in Heavy-Duty Tractors*. National Renewable Energy Laboratory, Colorado. Erişim adresi: <https://www.nrel.gov/docs/fy99osti/24146.pdf>
- U.S. Department of Energy. (1996). *Alternative Fuel Transit Buses*. Oak Ridge: National Renewable Energy Laboratory. Erişim adresi: <https://afdc.energy.gov/files/pdfs/transbus.pdf>
- U.S. Department of Energy. (2000a). *Dallas Area Rapid Transits's LNG Bus Fleet: Final Results*. Oak Ridge: National Renewable Energy Laboratory. Erişim adresi: <https://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28124.pdf>
- U.S. Department of Energy. (2000b). *Raley's LNG Truck Fleet: Final Results*. Oak Ridge: National Renewable Energy Laboratory. Erişim adresi: <https://www.nrel.gov/docs/fy00osti/27678.pdf>
- U.S. Department of Energy. (2001). *Waste Management's LNG Truck Fleet: Final Results*. Oak Ridge: National Renewable Energy Laboratory. Erişim adresi: <https://www.nrel.gov/docs/fy01osti/29073.pdf>
- U.S. Department of Energy. (2004). *Norcal Prototype LNG Truck Fleet: Final Results*. Oak Ridge: National Renewable Energy Laboratory. Erişim adresi: <https://afdc.energy.gov/files/pdfs/35427.pdf>



U.S. Energy Information Administration. (2016). *International Energy Outlook 2016*. Erişim adresi: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)

World Energy Council. (2011). *Global Transport Scenarios 2050*. World Energy Council. Erişim adresi: [https://www.worldenergy.org/assets/downloads/wec\\_transport\\_scenarios\\_2050.pdf](https://www.worldenergy.org/assets/downloads/wec_transport_scenarios_2050.pdf)

Yan, F., Xu, B., Liu, N. ve Zheng, Z. (2016). Study on the Construction of an Urban Liquefied Natural Gas Bus and Its Cold Energy Recovery. *Energy Procedia*, 104, 515-519. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.087>

Yeh, S. (2007). An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles: The case of natural gas vehicles. *Energy Policy*, 35(11), 5865-5875. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.06.012>

Zhang, S., Wu, Y., Liu, H., Huang, R., Yang, L., Li, Z., Fu, L. ve Hao, J. (2014). Real-world fuel consumption and CO2 emissions of urban public buses in Beijing. *Applied Energy*, 113, 1645-1655. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.017>

## KRİYOJENİK ISIL İŞLEMİN Ti6Al4V ALAŞIMINLARINDA DİNAMİK TOKLUK ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Cansu ÇİMEN<sup>1</sup>, Koray KILIÇAY<sup>2\*</sup>, Esad KAYA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ROKETSAN, Elmadağ, Ankara, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-8240-6888>

<sup>2\*</sup> ESOGÜ, Makine Mühendisliği Bölümü, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-2025-4991>

<sup>3</sup> ESOGÜ, Makine Mühendisliği Bölümü, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-7332-6154>

Anahtar Kelimeler	Öz
Ti6Al4V, Kriyojenik Isıl işlem, Tokluk, Mekanik Özellikler	<i>Ti6Al4V alaşımlarının mekanik ve mikroyapı özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda çeşitli ısıl işlemler vardır. Bu ısıl işlemlerden biri de kriyojenik ısıl işlemdir. Kriyojenik işlem, malzemenin -196°C'ye kademeli soğutulup, bekletilerek ve sonrasında kademeli ısıtılarak uygulanan bir ısıl işlemdir. Son yıllarda gelişen teknoloji ile metallerin mikro yapısını ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için tamamlayıcı bir proses olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Ti6Al4V alaşımlarına farklı bekletme sürelerinde uygulanan kriyojenik ısıl işlemin dinamik tokluk ve mikroyapısal özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kriyojenik ısıl işlemler 12, 24 ve 36 saat olacak şekilde yapılmıştır. Numunelerin oda sıcaklığında dinamik tokluk değerini gözlemleyebilmek için Charpy centikli darbe testi yapılmıştır. Deneysel çalışmaların neticesinde Ti6Al4V alaşımına uygulanan kriyojenik ısıl işlemin tokluk değeri üzerinde olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiş, 36 saat kriyojenik işlem uygulanan numunenin dinamik tokluğunun işlemsiz numuneye göre %28 arttığı ve en efektif bekletme süresi olduğu görülmüştür. Ayrıca kriyojenik işlemin etkilerini belirlemek için mikro yapı incelemeleri ve mikrosertlik testi yapılmıştır. Mikroyapı üzerinde ise süre koşuluna bağlı olarak <math>\beta</math> fazının <math>\alpha</math> fazına dönüşmesiyle yapıdaki iç gerilmelerin azaldığı ve daha kararlı bir yapıya dönüştüğü gözlemlenmiştir. Kriyojenik ısıl işlemin sıcaklık ve süre kontrollü uygulanmasının malzemenin mekanik ve mikroyapısal özelliklerini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir.</i>

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CRYOGENIC HEAT TREATMENT ON EXPERIMENTAL DYNAMIC TOUGHNESS IN Ti6Al4V ALLOYS

Keywords	Abstract
Ti6Al4V, Cryogenic Heat Treatment, Toughness, Mechanical Properties	<i>There are various heat treatments regarding the improvement of mechanical and microstructural properties of Ti6Al4V alloys. One of these heat treatments is cryogenic heat treatment. The process is a heat treatment applied by gradually cooling the material to -196°C, soaking and then gradually heating it. Developing technology in nowadays, this process is used as an additive process to enhance the microstructure and mechanical properties of materials. In this study, the effect of cryogenic heat treatment applications on Ti6Al4V alloys at different soaking times on dynamic impact toughness and microstructural properties was examined. Cryogenic heat treatment was applied for 12, 24 and 36 hours Charpy impact test was performed on the samples to observe the dynamic toughness performance at room temperature. It is observed in experimental studies the application of cryogenic heat treatment on the Ti6Al4V alloy had a beneficial effect on the dynamic toughness. The most contribution to the toughness was observed in subjected to 36 hours of cryogenic treatment increased by 28% compared to the untreated sample. Additionally, microstructure examinations and microhardness tests were evaluated to conclude the effects of the heat treatment process. On the microstructure, phase transformation of <math>\beta</math> to <math>\alpha</math> phase is particularly depending on the soaking time. Cryogenic heat treatment reduces the residual stress in the lattice and it turned into a more stable structure. The temperature and time controlled application of cryogenic heat treatment positively affects the primarily microstructural and mechanical properties of the material.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 04.12.2023

Submission Date : 04.12.2023

Kabul Tarihi : 08.02.2024

Accepted Date : 08.02.2024

\* Sorumlu yazar: [kkilicay@ogu.edu.tr](mailto:kkilicay@ogu.edu.tr)

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1399851>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Giriş

Teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte, son yıllarda dayanıklı, hafif malzemelerden üretilen ürünler ve bunların üretim yöntemlerinde iyileştirmeye yönelik beklentilerde artış bulunmaktadır (Gu ve diğ., 2013). Özellikle elektronik, bilgisayar, otomotiv ve havacılık endüstrilerinde bu tür malzemelere olan ihtiyaç artmaktadır (Voort, 2004). Ti alaşımları düşük yoğunlukları, yüksek dirençleri, ısı ve korozyon dirençleri sebebiyle bu beklentilerin çoğunu karşılamaktadır (Vilaro ve diğ., 2011). Kategorilerde çok yönlü özelliklere sahip olan bu alaşımlar arasında, Ti6Al4V en yaygın kullanılanıdır (Du ve diğ., 2019). Bu alaşım, yüksek mukavemet ve biyo uyumluluğun yanı sıra yorulma ve korozyona karşı yüksek direnç özelliklerine sahiptir (Çakır, 2019). Ti6Al4V bahsedilen bu özellikleri sayesinde havacılık uygulamalarında en çok tercih edilen Ti alaşımlarından biri olmuştur (Tanrıöver ve Taşçı, 1997). Ti6Al4V alaşımları bileşim ve amaçlarına göre tavlanabilir, sertleştirilebilir, yaşlandırılabilirler veya farklı özel kimyasal ısı işlemlere tabi tutulabilirler (Das ve diğ., 2009). Ti6Al4V alaşımlarına imalat sırasında oluşan artık gerilmeleri gidermek, yapısal ve boyutsal kararlılık, süneklik, işlenebilirlik gibi parametrelerin iyileştirilmesi ve mukavemeti artırmak gibi amaçlarla farklı tipte ısı işlemler uygulanabilir (Gill ve diğ., 2009). Yaşlandırma, çözeltiye alma ve tavlama işlemleri malzemenin mekanik özelliklerini değiştirmeye yönelik standart işlemlerdir (Voort, 2004). Aynı zamanda korozyon dayanımını artırma, çarpılmaları önleme ve şekillendirme öncesi malzemeyi hazırlamak için de tercih edilen uygulamalardandır (Voort, 2004). Ti6Al4V alaşımlarının, dinamik tokluk ve kırılma tokluğu değerlerinin optimizasyonu özel ısı işlemler ile mümkündür (Semiatin ve diğ., 1997). Bu işlemler Dupleks tavlama, çözeltiye alma, beta fazı tavlama, normalizasyon, yeniden kristalleşme tavlama olarak sayılabilir (Tanrıöver ve Taşçı, 1997). Bu özel işlemlerden biri de kriyojenik ısı işlemdir (Gu ve diğ., 2013). Kriyojenik ısı işlem ile malzemeler sıfırın altındaki sıcaklıklara kontrollü olarak soğutulur. Arzu edilen sıcaklıklarda sıcaklıkta bekletilir. Takiben kontrollü olarak oda sıcaklığına ısıtılır (Peters ve diğ., 2003). Kriyojenik ısı işlem ile malzemenin mikroyapısındaki değişikliklere uğraması hedeflenmektedir. Havacılık ve uzay araştırmalarından akışkan gıda taşımaya kadar birçok interdisipliner alanda kullanılan malzemeler üzerinde etkileri vardır (Das ve diğ., 2010).

Kriyojenik işlemin çelikler gibi demir esaslı malzemeler üzerinde uygulanması ve etkilerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Höke ve diğ., (2014) çalışmalarında kriyojenik işlemin AISI 4140 ıslah çeliğine etkisini incelemiştir. Bu işlem neticesinde sertlik değerleri düşmeden tokluk değerinin yaklaşık %33 arttığı tespit edilmiştir. Kriyojenik Isıl işlem

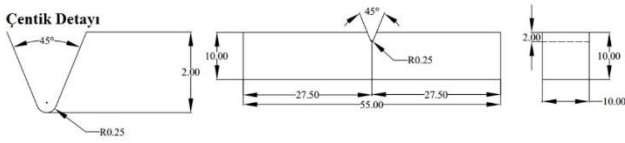
uygulanan çeliklerde martenzit morfolojisinde düzen ve artış görülmüştür. Senthilkumar ve diğ., (2011) kriyojenik işlemin AISI 4140 çeliği için kalıntı gerilmeleri üzerine etkisini analiz etmişlerdir. Kriyojenik işlemin östenitin martenzite dönüşümü arttırdığını gözlemlemişlerdir. Yun ve diğ., (1998); Xiaoping ve diğ., (2013) 24 saat ve 48 saat bekletme sıcaklıklarında uygulanan -196 °C' de yapılan kriyojenik işlemin çeliklerde mekanik özelliklere olan değişimini araştırmışlardır ve kriyojenik işlem uygulanan malzemelerin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğunu görmüşlerdir. Zhirafar ve diğ., (2007) 4340 çeliği için kriyojenik işlemin mikroyapısal, mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kriyojenik işlem ve temperlemeden sonra malzemenin diğer ısı işlem yöntemlerine göre mekanik özelliklerinin daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir. Kim ve diğ., (1999) oda sıcaklığında ve -196°C' de uygulanan kriyojenik işlemin Al alaşımlarının çekme özelliklerini karşılaştırmışlardır. Numunelere sonrasında çekme deneyi yapılmıştır. Gerçekleştirilen çekme deneyi sonucunda; akma ve çekme gerilmeleri değerlerinin iyileştiği aynı zamanda uzama miktarlarının azaldığını görmüşlerdir. Chen ve diğ., (2002), havacılık için üretilen bir Al alaşımına kriyojenik işlem uygulamışlardır. İşlemin mekanik özelliklere olan etkisi sertlik ve kalıntı gerilim ölçümü, çekme testi, ve yorulma ömrü tayin göz önüne alınarak araştırılmıştır. Kriyojenik işlem yapılan malzemenin; çekme mukavemeti ve sertlik değerlerinde bir miktar yükselme, kalıntı gerilmelerde azalma, yorulma ömründe ise kayda değer bir değişiklik olmadığını tespit etmişlerdir. Kawabata ve diğ., (1984) Al-Zn-Mg içerikli bir alaşım için yaşlandırmanın süneklik özelliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sünekliğin soğuk, sığ ve derin kriyojenik sıcaklıklarda uygulanan işlemlerle ile iyileştiğini gözlemlemişlerdir.

Kriyojenik işlemin Ti alaşımlarının özelliklerinin geliştirilmesi için uygulanması konusunda çalışmalar görüleceği üzere kısıtlıdır. Bu çalışmada Ti6Al4V alaşımlarına uygulanacak olan kriyojenik ısı işlemin tokluk ve mikroyapıdaki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı bekletme sürelerinde uygulanan kriyojenik ısı işlemin mikroyapısal, mekanik özelliklere olan etkisi incelenmiştir. Kriyojenik ısı işlemin sıcaklık ve süre kontrollü uygulanmasının malzemenin mekanik özelliklerini ve mikroyapısını olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir.

## 2. Yöntem

Kriyojenik ısı işlemin Ti6Al4V alaşımına etkilerin analiz edilmesi için AMS 6931 standardının gerekliliklerini karşılayacak şekilde bar formunda (3.00"x1.50"x4.00") malzeme tedarik edilmiştir. Bu standarttaki alaşımlar temin edildiğinde yumuşatma tavlama (700 °C) yapılmış durumdadır. Ti6Al4V alaşımı için kriyojenik ısı işlemin etkilerinin

incelenmesi amacıyla toplam 4 adet çentik darbe numunesi talaşlı imalat yöntemleriyle hazırlanmıştır. Numuneler işlendikten sonra çapak alma işlemi yapılmış, ölçülerek değerleri kaydedilmiştir. Numuneler N1, N2, N3 ve N4 olarak adlandırılmıştır. N1 numunesine 12 saat, N2 numunesine 24 saat ve N3 numunesine 36 saat süreyle  $-196^{\circ}\text{C}$ ' de kriyojenik işlem uygulanmıştır. Kriyojenik ısı işlem uygulanan tüm numuneler oda sıcaklığında dengeye geldikten takiben  $170^{\circ}\text{C}$  sıcaklığında 3 saat temperlenmiştir. N4 numunesine herhangi bir işlem uygulanmamış ve hazır tedarik formundadır. Hazırlanan standart deney numunelerinin ölçüleri Şekil 1' de ve deneysel çalışmada kullanılan iş akış şeması Çizelge 1' de verilmiştir.



Şekil 1. Çentik Darbe Deney Numunesi Teknik Resmi

Çizelge 1: Numunelere Uygulanan Isıl İşlem ve Çalışmada İzlenen Deneysel Prosedür

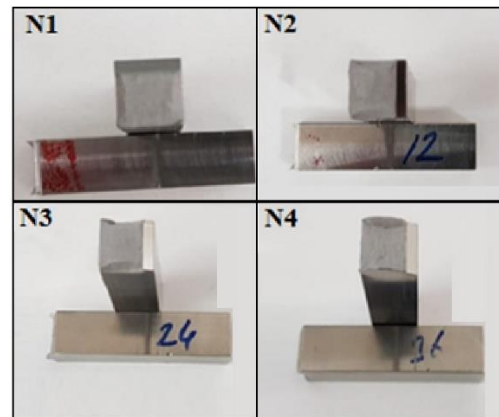
Numune Kodu	Kriyojenik İşlem Prosedürü ve Mekanik Testler	Darbe Deneyi	Sertlik Deneyi	Mikroyapı Analizi
N1	$-196^{\circ}\text{C}$ 12 h $170^{\circ}\text{C}$ 3 h			
N2	$-196^{\circ}\text{C}$ 24 h $170^{\circ}\text{C}$ 3 h			
N3	$-196^{\circ}\text{C}$ 36 h $170^{\circ}\text{C}$ 3 h			
N4	Tedarik Edildiği Hal			

AMS 6931 uygun Ti6Al4V alaşımları hiçbir işlem yapılmadan  $700^{\circ}\text{C}$ ' de yumuşatma tavlama uygulanmış durumdadır. MMD Teknoloji firmasının ürettiği kriyojenik ısı işlem cihazı ile belirtilen sıcaklık ve sürelerde numunelere kriyojenik işlemler uygulanmıştır. Numunelerin maruz kalacağı ani soğuma ve ısınma çarpımlarına ve çatlaklara sebep olabileceğinden, bunu önlemek için kriyojenik işlem sürecinde bir kontrol düzeneği aracılığıyla ısıtma ve soğutma işlemi yapılmıştır. Numunelerin Soğutulması ve oda sıcaklığına ısıtılması işlemi kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. İki durum içinde  $1^{\circ}\text{C}/\text{dk}$  hızı kullanılmıştır. Kriyojenik işlemler sıvı azot püskürtmeli sistem içinde  $-196^{\circ}\text{C}$  sıcaklığında uygulanmıştır. İşlem uygulanan tüm numuneler temperlenmiştir. Uygulanan ısı işlem prosedürü sonrası tüm numunelere oda sıcaklığında çentik darbe testi uygulanmıştır. Kriyojenik işlemin Ti6Al4V alaşımları üzerindeki etkilerini gözlemek için hazırlanan numunelere

TÜRASAŞ Tahribatlı Test Laboratuvarında TS EN ISO 148-:2010 standardına göre Wance PIT452 Çentik Darbe Testi Cihazında çentik darbe testi uygulanmıştır. Numunelerin kırık yüzeyleri makro olarak incelenmiş kırılma karakterleri tespit edilmiştir. Numuneler oda sıcaklığında tekil darbe altında çentik arkasından vurularak dinamik etkiyle kırılmıştır. Çentik darbe testi gerçekleştirildikten sonra numunelerin ucundan yaş kesme metodu ile kesim yapılarak metalografik olarak hazırlanmıştır. Optik incelemeler için Kroll dağlayıcısı kullanılmıştır. Kroll dağlayıcısı kütlece %6 Hidroflorik asit (HF), % 9 Nitrik Asit  $\text{HNO}_3$  ve %85 saf su ( $\text{H}_2\text{O}$ ) içermektedir. Optik mikroskop ile mikro yapılar incelenmiştir. Ti6Al4V numunelerimizin dağlama işlemi için laboratuvarında hazırlanan Deneysel çalışmada mikro yapı incelemesi NIKON Eclipse MA100 optik mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerde faz dağılım oranları yüzeysel alan ölçüm yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu işlemleri takiben mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Her numune üç ölçüm alınmış ve ortalaması raporlanmıştır. Deneyler QNESS Q250MS sertlik ölçüm cihazında 100gf yük altında 10 saniye bekletme süresinde,  $136^{\circ}$  açılı Vickers tipi batıcı elmas uç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin raporlanması, literatürdeki verilerle karşılaştırılması ve değerlendirilmesi ile çalışma tamamlanmıştır. Çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### 3. Bulgular

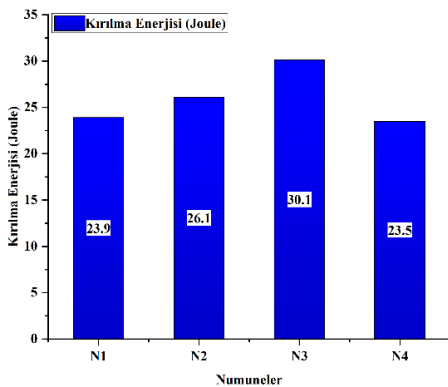
Şekil 2, dinamik darbe deneyi gerçekleştirilmiş numunelerin makro fotoğraflarını göstermektedir. Numunelerde sünek kırılma meydana gelmiştir. Makro açıdan incelendiğinde kırık yüzeylerde süngerimsi yapıların oluştuğu görülmektedir. Bu tip oluşumlar kırılmanın sünek karakterli olduğunun en büyük göstergesidir.



Şekil 2. Kırık Yüzeylerinin Makro Olarak İncelenmesi

Dört farklı kontrol grubu için yapılan çentik darbe testlerinin kırılma enerjisi sonuçları Şekil 3'de verilmiştir. Bu deneyde elde edilen veriler numune tarafından soğurulan darbe enerjisi veya darbe dayanımı olarak tanımlanır. Çentik darbe testi

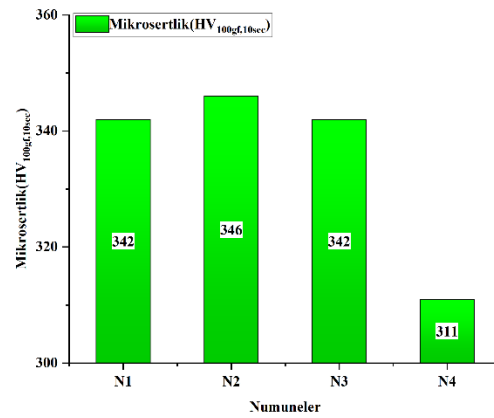
sonuçlarına göre herhangi bir ısıl işlem uygulanmamış numunenin darbe direnci yaklaşık 23.5 Joule olarak ölçülmüştür. Kriyojenik işlem uygulanan numunelerin darbe direncinde artış görülmüştür. Bu artış yaklaşık %2 ile %28 arasında değişim göstermektedir. Dinamik tokluk değerinde 12 saat kriyojenik işlem uygulanan durumda kayda değer bir artış gözlemlenmemiştir. 24 saat süreli işlemde ise tokluğu yaklaşık %10 arttığı görülmektedir. En yüksek dinamik tokluk değeri ise 36 saat ısıl işlem bekletme süresinde gözlemlenmiştir (30.1 Joule). Yapılan deneylerle işlem süresinin dinamik tokluk üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Görüleceği üzere 24 saat işlem süresinin dinamik tokluk performans verimi açısından kritik olduğu gözlemlenmiştir. Veriler değerlendirildiğinde, tokluk değerinde % 28'e kadar iyileşme gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 36 saat kriyojenik işlem uygulanan numunenin tokluk değerinin % 28'e kadar, 24 saat kriyojenik işlem uygulanan numunenin tokluk değerinin % 11'e kadar, 12 saat kriyojenik işlem uygulanan numunenin tokluk değerinin % 2'ye kadar arttığı ve iyileştiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda Ti6Al4V alaşımlarına uygulanan kriyojenik ısıl işlemin tokluğu ve plastik şekillendirilme direnç kabiliyetini arttırdığı göstermektedir. Bu durumun ana sebebi  $\beta$  fazının  $\alpha$  fazına dönüşmesi ve iç gerilmenin azalması ile açıklanmıştır. İç gerilmeler kriyojenik sıcaklıklarda dislokasyon yoğunluğu yeniden oluşmasıyla azalır. Çentik darbe testinin sonuçları literatürdeki çalışmalar ile uyumludur. Öncül yapılan bir çalışmada farklı olarak, çözeltiye alma uygulanmış Ti6Al4V alaşımına yaşlandırma öncesi kriyojenik işlem uygulanmış, malzeme özelliklerindeki iyileşme çekme testi yapılarak gözlemlenmiştir ve sonuçlar, yaşlandırma işleminden önce kriyojenik işlemin Ti6Al4V alaşımının mekanik özelliklerini iyileştirebileceğini göstermiştir (Gu vd., 2013).



Şekil 3. Numunelerin Dinamik Tokluk Değerleri

Hazır tedarik Ti6Al4V alaşımının yaklaşık darbe enerjisi yaklaşık 20 Joule olarak literatürden bilinmektedir (Voort 2004). Deneysel çalışmada kullanılan hazır tedarik alaşımının tokluk değeri (23.5

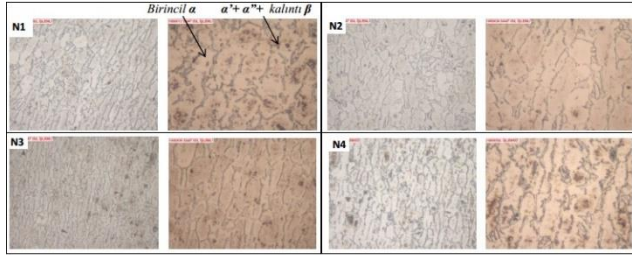
Joule) ile literatür kıyaslandığında sonuçların eşdeğer olduğu görülmektedir. Bu durum referans alınarak, sonuçlara göre kriyojenik işlemin tokluk üzerindeki olumlu etkisi olduğu görülmektedir. 36 saat kriyojenik işlem uygulamasının tokluk üzerinde 12 ve 24 saate oranla daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu etkinin sayısal olarak yaklaşık 1.25 ve 1.15 kat daha efektifir. Kriyojenik işlem sonucu elde edilen tokluk ve plastik şekillendirilebilirlik iyileşmesi düzenli yapıya ulaşan dislokasyonlara ve içyapıda oluşan artık gerilmelerinin azalmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Çentik darbe testi sonucu kopan numunelerin uçları yaş kesme metodu kesilmiştir. Metalografik olarak hazırlanan yüzeylerin üç farklı noktasından mikrosertlik ölçümü yapılmış ve ortalama değerler raporlanmıştır. Mikrosertlik metodu tercih edilerek Vickers uç tipi kullanılmıştır. Şekil 4'de ortalama sertlik sonuçları görülmektedir.



Şekil 4. Kriyojenik Isıl İşlemin Numunelerin Mikrosertliği Üzerindeki Etkisi

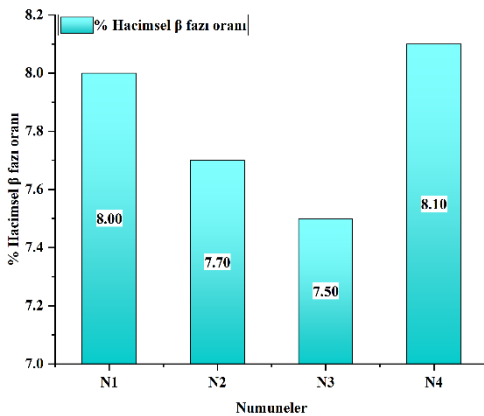
Sertlik testi verilerine göre kriyojenik işlem uygulanan numunelerden 24 saat uygulanmasında sertliği en yüksek olduğu, 36 saat uygulanmasında ise 12 saat kriyojenik işlem uygulanan numuneye göre anlamlı bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. Kriyojenik işlem uygulanmayan numuneye kıyasla uygulanan numunelerde yaklaşık %11 sertlik artışı gözlemlenmiştir. Oluşan bu sertlik farklılığının fazlal dönüşümler nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Çentik darbe testi sonucu kırılan numuneler optik mikroskopta inceleme yapmak için kullanılmıştır. Muayene edilecek numuneler uygun şekilde parlatılmıştır (Zımparalama ve parlatma). Numunelerin yüzeyi alkol ve asetonla silinerek yağ ve tozlarından arındırılmıştır. Sonrasında Ti6Al4V malzemesine uygun dağılayıcı olan Kroll's ile yeter süre dağılanıp, dağılama yüzeyi su ve alkolle temizlenmiş ve kurutulup mikroskopa yerleştirilmiştir. Numunelerin mikroyapıları incelendiğinde kriyojenik işlemin mikroyapılar üzerinde açık ve koyu renkteki bölgelerin oranını etkilediği görülmüştür. Mikroyapı analizi 500X

ve 1000X büyütme ile değerlendirilerek gerçekleştirilmiştir. Şekil 5' te numunelerin mikroyapıları gösterilmiştir. Koyu renkli alanlar  $\beta$  fazını, açık renkli alanlar ise  $\alpha$  fazını göstermektedir. Bu durum dikkate alınarak fazların yüzey alanları ölçülerek oranlanmıştır. Doğru veri elde edebilmek adına tüm numuneler aynı ışık ve ortamda incelenmiştir. Temin edildiği durumda olan işlemsiz referans numunelerde  $\beta$  faz oranı yaklaşık olarak %8.1 olarak kabul edilir.



Şekil 5. Numunelerdeki Isıl İşlem Sonrası Mikroyapı (500x ve 1000X) Görüntüleri

Yapılan inceleme neticesinde %  $\beta$  fazı oranı şekil 6.'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre kriyojenik işlemin  $\beta$ - $\alpha$  faz dönüşümünde etkili ve yapıdaki miktarı ve dağılımını değiştirdiği söylenebilir. Kriyojenik ısı işleminin,  $\beta$  fazının oranının dönüşüme uğrayarak azalmasına ve dağılımının değişikliğe uğramasına sebep olduğu ifade edilebilir. Düşük sıcaklıklarda difüzyon hızının az olması ve dislokasyon hareketlerini yavaşlatmaktadır. Bu durum kriyojenik işlem bekletme süresinin faz dönüşümü üzerinde efektif olduğunun bir göstergesidir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki öncül çalışmalar kıyaslandığında uyumlu olduğu görülmektedir (Gu vd., 2013). Kriyojenik işlem sürecinde sıcaklığın düşmesiyle, vanadyumun  $\beta$  fazının konsantrasyonu azalır, bunun sonucunda yarı kararlı  $\beta$  fazları stabilizatörlü  $\beta$  fazlarına dönüşecektir. Daha sonra,  $\beta$  fazı iken, tekrar kararlı  $\alpha$  fazına dönüşür. Bu dönüşüm sadece kriyojenik işlem süreci için değil, zaman içinde doğal yaşlanmanın  $\alpha''$  ve  $\beta$  fazlarının  $\alpha$  fazına dönüşmesine neden olmasında da aynıdır.



Şekil 6. Numunelerdeki Isıl İşlem Sonrası  $\beta$  Faz Oranları Değişim Grafiği

#### 4. Sonuçlar

Deneyisel incelemeler neticesinde kriyojenik işlem uygulanmasının Ti6Al4V alaşımının mekanik özellikleri üzerinde olumlu etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada kriyojenik işlemin dinamik tokluk, mikro yapısal değişim ve sertlik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada yapılan deneysel çalışmalar ile elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Ti6Al4V alaşımlarına uygulanan kriyojenik işlemin dinamik tokluğu arttırdığı gözlemlenmiştir. 36 saat kriyojenik işlem uygulamasının tokluk üzerinde 12 ve 24 saate oranla daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.
- 24 saat altında uygulanan kriyojenik işlemlerin dinamik tokluk açısından kayda değer etkilerinin olmadığı görülmüştür.
- 36 saat kriyojenik işlem uygulanan numunenin tokluk değerinin % 28'e kadar arttığı ve maksimum iyileşme sağlandığı belirlenmiştir.
- Çözeltiyeye alma işlemi ve yaşlandırma işlemi arasında uygulanan kriyojenik işlemin tokluk değeri üzerinde artış sağladığı fakat tek başına uygulanan derin kriyojenik işlemin (24 ve 36 saat) tokluk üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu öncül çalışmalarla karşılaştırılarak tespit edilmiştir.
- Yapılan sertlik ölçümü sonuçlarına göre 24 saat uygulanmasında sertliği en yüksek olduğu, 36 saat uygulanmasında ise 12 saat kriyojenik işlem uygulanan numuneye göre anlamlı bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. Kriyojenik işlem uygulanmayan numuneye kıyasla uygulanan numunelerde %10-%20 sertlik artışı gözlemlenmiştir.
- Optik mikroskop incelemeleri neticesinde kriyojenik işlemin  $\beta$ - $\alpha$  faz dönüşümünde etkili olmuştur ve yapıdaki miktarı ve dağılımının değiştirdiği gözlemlenmiştir. Yeni intermetaliklerin oluştuğu düşünülmektedir.

#### Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Cansu ÇİMEN, numune üretimi, deneylerin uygulanmasını, veri dijitalizasyonunu; Koray KILIÇAY, literatür araştırması, deneylerin tasarımı, makale taslağı oluşturulması; Esad KAYA, deneysel sonuçların derlenmesi konularında katkı sağlamışlardır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### Kaynaklar

Chen, P., Malone T., Bond R., Torres P., (2001). Effects of Cryogenic Treatment on the Residual Stress and Mechanical Properties of an Aerospace Aluminum

- Alloy. Proceedings of The 4th Conference on Aerospace Materials, Processes, and Environmental Technology.
- Çakır, F. H. (2019). Ti6Al4V Alaşımına Kriyojenik İşlemin Etkilerinin Araştırılması (Doktora Tezi). Eskişehir, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Das, D., Dutta, A. K., Ray, K. K., (2010). Structure-Property Correlation of Cryotreated AISI D2 Steel. *Advanced Materials Research* 117: 49-54. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.117.49>
- Das, D., Dutta, A. K., Ray, K. K., (2009). Influence of temperature of sub-zero treatments on the wear behaviour of die steel. *Wear* 267(9-10): 1361-1370. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.11.029>
- Du, Z., Yan M., Liu F., Xueping Z., Chen Y., Guowei L., Guolong L., Yuyong C., (2019). Improving mechanical properties of near beta titanium alloy by high-low duplex aging. *Materials Science and Engineering: A* 754: 702-707. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.03.127>
- Gill, S. S., Rupinder S., Harpreed S., Jagdev s., (2009). Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 49(3-4): 256-260. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2008.11.001>
- Gu, K., Zhang H., Zhao B., Wang J., Zhou Y., Zhiqiang L., (2013). Effect of cryogenic treatment and aging treatment on the tensile properties and microstructure of Ti-6Al-4V alloy. *Materials Science and Engineering: A* 584: 170-176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.07.021>
- Höke G., Şahin İ., Henifi Ç., Fındıklı T., (2014). Kriyojenik İşlemin SAE 4140 Çeliğin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. *Journal of Selcuk-Technic* 13(2).
- K. Tanrıöver, A. Taşçı. (1997). Titanyum Alaşımının Isıl İşlemi. *Makine Magazin* 58.
- Kawabata, T., Suenaga H., Izumi O., (1984). "Effect of cold working and ageing treatment on ductility of an Al-6.0% Zn-2.6% Mg alloy at 4.2 to 293 K." *Journal of Materials Science* 19(3): 1007-1021. DOI : <https://doi.org/10.1007/BF00540471>
- Kim, S. S., Nack J. K., (1999). Tensile behavior of rapidly solidified Al-Li-Zr and Al-Li-Cu-Mg-Zr alloys at 293 and 77 K. *Metallurgical and Materials Transactions* A 30(8): 2254-2258. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11661-999-0039-3>
- Peters, M., Hemptenmacher J., Kumpfert J., Leyens C., (2003). Structure and Properties of Titanium and Titanium Alloys. *Titanium and Titanium Alloys: 1-36*. DOI : <https://doi.org/10.1002/3527602119.ch1>
- Semiatin, S. L., Seetharaman V., Weiss I., (1997). The thermomechanical processing of alpha/beta titanium alloys. *Jom* 49(6): 33-39. DOI : <https://doi.org/10.1007/BF02914711>
- Senthilkumar, D., Rajendran I., Pellizzari M., Siirainen J., (2011). Influence of shallow and deep cryogenic treatment on the residual state of stress of 4140 steel. *Journal of Materials Processing Technology* 211(3): 396-401. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.10.018>
- Vilaro, T., Colin C., Bartout J. D., (2011). As-Fabricated and Heat-Treated Microstructures of the Ti-6Al-4V Alloy Processed by Selective Laser Melting. *Metallurgical and Materials Transactions A* 42(10): 3190-3199. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11661-011-0731-y>
- Voort, G. F. V. (2004). *ASM handbook. Vol. 9, Metallography and microstructures*. Materials Park, Ohio, ASM Materials Park, Ohio.
- Yun, D., Xiaoping L., Xiao H., (2013). Classic contributions: cryogenic treatment Deep cryogenic treatment of high speed steel: microstructure and mechanism. *International Heat Treatment and Surface Engineering* 2(2): 80-84. DOI : <https://doi.org/10.1179/174951508X358482>
- Zhirafar, S., Rezaeian A., Pugh M., (2007). Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of 4340 steel. *Journal of Materials Processing Technology* 186(1-3): 298-303. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.12.046>

## DOĞAL TAŞ SEKTÖRÜ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ HARCAMALARININ FAYDA-MALİYET ANALİZİ: BİR MERMER FABRİKASI ÖRNEĞİ

Seyhan ÖNDER<sup>1\*</sup>, Ece KUNDAK<sup>2</sup>, Mustafa ÖNDER<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,

<sup>1</sup>ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-0396-9995>

<sup>2</sup>ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-5491-7058>

<sup>3</sup>ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-9267-1543>

Anahtar Kelimeler	Öz
Fayda-maliyet analizi İş sağlığı ve güvenliği harcamaları Doğal taş Mermer fabrikası İş kazası	<i>İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) önlemleri için yapılması gereken harcamalar işletmeler tarafından göz ardı edilmemelidir. Bu harcamalar, özellikle çok tehlikeli sınıfta yer alan ve iş kazası olasılıkları oranlarına göre tüm sektörler arasında ilk sırada yer alan madencilik sektörü için çok daha hayati öneme sahiptir. Bu çalışmada, öncelikle 2013-2022 yılları arasındaki, beş farklı ekonomik faaliyetten oluşan madencilik sektörüne ait Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) kayıtları incelenmiştir. Doğal taş sektörünün, en fazla çalışan sayısına sahip "diğer madencilik ve taş ocakçılığı" ekonomik faaliyeti içerisinde yer aldığı ve 10 yıllık iş kazası verilerine göre ölüm oranlarında "kömür ve linyit çıkarımından" sonra ikinci sırada yer aldığı tespit edilmiştir. İSG için yapılan harcamaların mali büyüklüğünü ve işletmeye sağladığı faydanın büyüklüğünü analiz etmek amacıyla, bir mermer fabrikasının 2020 yılındaki İSG harcamaları incelenmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda, İSG harcamalarının işletme cirosunun yaklaşık %0,5'ine karşılık geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB) tarafından hazırlanan "İş Sağlığı ve Güvenliği Fayda-Maliyet Analizi Proje Raporu" esas alınarak, işletmedeki İSG harcamaları için fayda-maliyet analizi yapılmış ve faydanın İSG maliyetinin 5,54 katı olduğu belirlenmiştir. Diğer madencilik ve taş ocakçılığı ekonomik faaliyetinde alınan İSG önlemlerinin ülke ekonomisine sağlayacağı faydanın ise 2023 yılı fiyatlarıyla ortalama 13 milyar TL olabileceği hesaplanmıştır. Sonuç olarak, İSG için yapılan harcamaların geleceğe yönelik büyük yatırımlar olacağı sayısal olarak ortaya konulmuştur.</i>

### BENEFIT-COST ANALYSIS OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY EXPENDITURES IN THE NATURAL STONE INDUSTRY: AN EXAMPLE OF A MARBLE FACTORY

Keywords	Abstract
Benefit-cost analysis Occupational health and safety investments Natural stone Marble factory Work accident	<i>Companies should not ignore expenditures required for Occupational Health and Safety (OHS) measures. These expenses are of much more vital importance, especially for the mining sector, which is in the very dangerous class and ranks first among all sectors according to work accident probability rates. In this study, first, the Social Security Institution (SSI) records of the mining sector, which consists of five different economic activities between 2013 and 2022, were examined. It has been determined that the natural stone sector is in the "other mining and quarrying" economic activity with the highest number of employees, and according to 10-year work accident data, it ranks second in death rates after "coal and lignite extraction". In order to analyze the financial magnitude of the investments made for OHS and the magnitude of the benefit of these investments to the companies, the OHS expenses of a marble factory in 2020 were examined. As a result of the evaluation, it was determined that OHS expenses correspond to approximately 0.5% of the company's turnover. In addition, based on the "Occupational Health and Safety Benefit-Cost Analysis Project Report" prepared by the MoLSS, a benefit-cost analysis was conducted for OHS expenditures in the enterprise and it was determined that the benefit was 5.54 times the OHS cost. It has been calculated that the benefit of OSH measures taken in the other mining and quarrying economic activity to the country's economy could be an average of 13 billion TL in 2023 prices. As a result, it has been numerically demonstrated that expenditures for OHS will be major investments for the future.</i>

Araştırma Makalesi  
Başvuru Tarihi

: 06.12.2023

Research Article  
Submission Date

: 06.12.2023



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Kabul Tarihi : 14.02.2024

Accepted Date : 14.02.2024

\* Sorumlu yazar: [sonder@ogu.edu.tr](mailto:sonder@ogu.edu.tr)<https://doi.org/10.31796/ogummf.1401194>

## 1. Giriş

İş kazalarının önlenmesinde, işin ve işyerinin niteliğine uygun önlemler alınması ile alınan bu tedbirlere çalışanların uyum sağlaması etkilidir. Bu tedbirler de işletmelere maliyet olarak bir yük getirmektedir. Bu tedbirlere yapılan harcamaları kısa vadede gereksiz gören işletmeler, gelecekte kendilerine sağlayacağı ekonomik yararları göz ardı edebilmektedirler. İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili harcamalara ilişkin fayda-maliyet analizleri, iş kazalarından doğan maliyetlerin, iş güvenliği harcamalarına oranla çok fazla olduğunu göstermektedir (Koç ve Akbıyık, 2011). ÇSGB İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü (İSGGM) tarafından hazırlanan proje raporunda, ulusal çapta iş sağlığı ve güvenliği faydalarının, maliyetlerine göre 2 kat daha fazla olacağı ifade edilmektedir (ÇSGB, 2010).

İş kazalarının Birleşik Krallık için her yıl maliyetinin 5,6 milyar £ (The cost of accidents in the workplace, 2018), iş kazaları ve meslek hastalıklarının ise ABD ekonomisine 250 milyar \$'dan fazlaya mal olacağı tahmin edilmektedir (World Economic Forum, 2017). 2021 yılında tıbbi müdahale gerektiren her kazanın 42.000 \$, her ölümün 1.340.000 \$ maliyet oluşturduğu ve yaralanma nedeniyle 70.000.000 iş günü kaybı olduğu belirlenmiştir (Work Injury Costs, 2021). Kanada'da İSG harcamalarının işverenlere sağlayacağı mali getiriyi tahmin etmek için yapılan çalışmada, İSG harcamalarının ortalama getirisinin imalat işverenleri için 1,24, ulaştırma işverenleri için 2,14 ve inşaat işverenleri için de 1,34 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmaya katılan işverenler, önleme yatırımlarının mali getirisinin, her 1 € için yaklaşık 2,2 € mali fayda sağlayacağını öngörmektedir (Mustard ve Yanar, 2023).

SGK kayıtlarına göre, ülkemizde iş kazaları sıralamasında ilk sıralarda imalat, inşaat, ulaştırma-depolama ve madencilik yer almaktadır (SGK, 2023).

Bununla beraber, yaşanan ölümlü/yaralanmalı iş kaza sayısının aynı dönem içindeki çalışan sayısına bölünmesiyle hesaplanan kaza olabilirlik oranları incelendiğinde, madencilik sektörünün ilk sırada yer aldığı görülmektedir (AÇSHB, 2020). 2017-2021 yılları arasında Türkiye'deki tüm sektörlerin ölümlü kaza olabilirlik oranları incelendiğinde, su yolu taşımacılığında sonra %54 ile diğer madencilik ve taş ocakçılığı ekonomik faaliyeti 2. sırada yer almaktadır (Bilim, Bilim ve Dündar, 2023).

Bu çalışmada, öncelikle 2013-2022 yılları arasında madencilik sektöründeki ekonomik faaliyetlerinin çalışan sayıları ve iş kazaları istatistikleri değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm veriler SGK tarafından her yıl yayınlanan yıllık istatistik meta verilerinden temin edilmiştir (SGK, 2023). Yapılan değerlendirmelerden sonra, çalışan sayısının en fazla olduğu diğer madencilik ve taş ocakçılığı ekonomik faaliyeti içerisinde yer alan doğal taş sektörünü temsilen bir mermer fabrikasında 2020 yılında İSG'ye yapılan harcamalar belirlenmiştir. Sonuç olarak, ÇSGB tarafından hazırlanan "İş Sağlığı ve Güvenliği Fayda-Maliyet Analizi Proje Raporu" esas alınarak, işletmenin ne kadar fayda sağladığı belirlenmiş, bu faydanın maliyetlerle ilişkisi incelenmiş ve ülke ekonomisindeki yeri ifade edilmiştir.

## 2. Madencilik Sektörü İş Kazalarının İncelenmesi

SGK'ya göre, maden sektörü çalışanlarının kayıtları; "kömür ve linyit çıkartılması", "ham petrol ve doğalgaz çıkarımı", "metal cevheri madenciliği", "diğer madencilik ve taş ocakçılığı", "madenciliği destekleyici hizmetler" olmak üzere 5 ekonomik faaliyetten oluşmaktadır. Doğal taş sektörü, diğer madencilik ve taş ocakçılığı ekonomik faaliyetinin içinde yer almaktadır. Madencilik sektöründe ekonomik faaliyetlere göre 10 yıllık çalışan sayıları Çizelge 1'de verilmiştir.

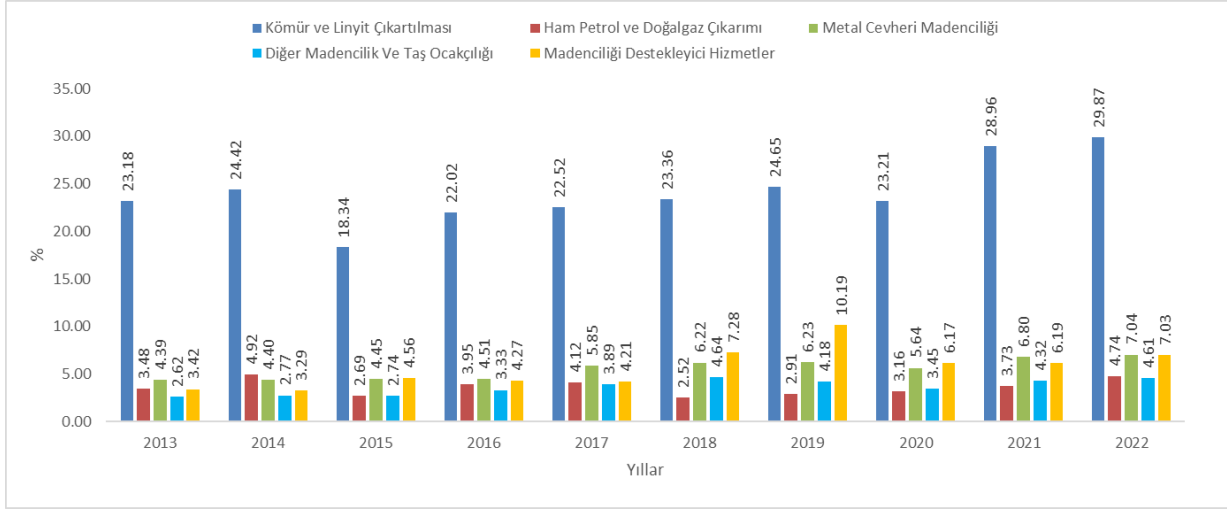
Çizelge 1. Madencilik Sektöründe Ekonomik Faaliyetlere Göre Çalışan Sayıları

Yıllar	Kömür ve Linyit Çıkartılması	Ham Petrol ve Doğalgaz Çıkarımı	Metal Cevheri Madenciliği	Diğer Madencilik ve Taş Ocakçılığı	Madenciliği Destekleyici Hizmet	Toplam
2013	48.706	3.387	24.039	60.911	7.125	144.168
2014	41.058	3.356	23.422	56.250	8.232	132.318
2015	40.508	3.118	22.392	59.893	5.948	131.859
2016	37.582	2.833	22.991	61.489	7.595	132.490
2017	37.596	2.304	27.746	65.181	7.833	140.660
2018	35.953	2.261	28.559	60.474	10.085	137.332
2019	36.436	2.300	28.188	58.320	9.083	134.327
2020	36.442	1.991	30.845	61.883	10.531	141.692
2021	38.349	2.252	34.446	65.405	11.732	152.184
2022	42.985	2.234	35.060	65.221	13.468	158.968
Ortalama	39.562	2.604	27.769	61.503	9.163	140.600

Çizelge 1'deki veriler incelendiğinde, 2013-2022 yılları arasında madencilik sektöründe 10 yıllık periyotta ortalama 140.600 çalışanın olduğu görülmektedir. Madencilik sektöründe çalışanın en fazla istihdam edildiği ekonomik faaliyeti ortalama 61.503 çalışan sayısı ile doğal taş sektörünün de içinde olduğu diğer madencilik ve taş ocakçılığıdır. Bu sayı, madencilik

sektöründeki toplam çalışan sayısının %43,74'üne karşılık gelmektedir.

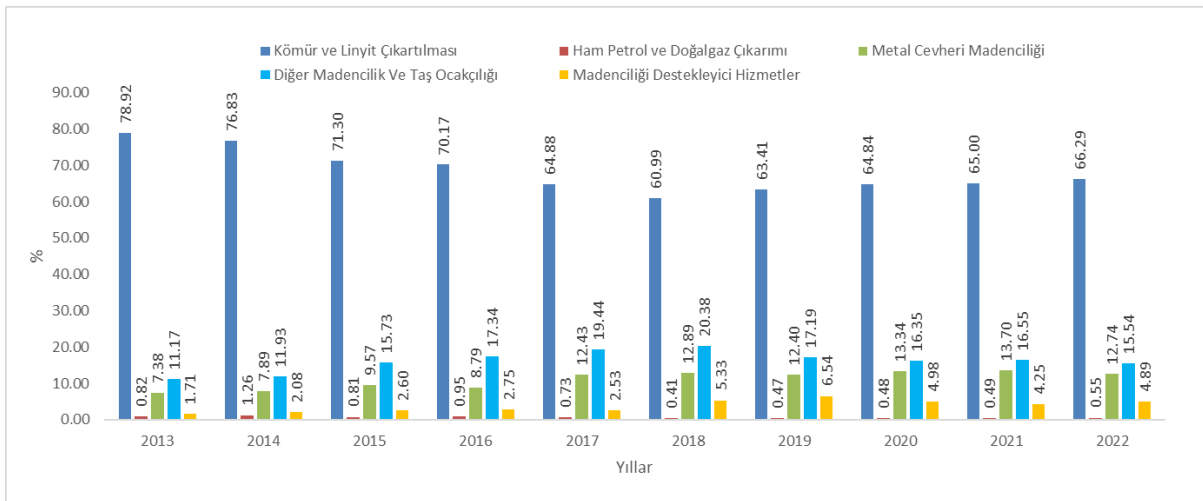
2013-2022 yılları arasında madencilik sektöründe toplam 140.054 çalışan iş kazası geçirmiştir (SGK, 2023). Her bir ekonomik faaliyette iş kazası geçiren çalışan sayısı, aynı ekonomik faaliyette istihdam edilen çalışan sayısına oranlanarak Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İş Kazası Geçiren Çalışanların Ekonomik Faaliyetlere Göre Dağılımı (%)

Şekil 1'deki iş kazası geçiren çalışanların oranları incelendiğinde, 10 yıllık periyotta ortalama %24,08 ile kömür ve linyit çıkartılması ilk sırada yer alırken, doğal taşın içinde bulunduğu diğer madencilik ve taş ocakçılığı ortalama %3,67 ile 4. sırada yer almaktadır. Çizelge 1'de de görüldüğü gibi, diğer madencilik ve taş ocakçılığı en fazla çalışana istihdam etmesine rağmen,

iş kazası geçiren çalışan oranlarında madencilik sektörü ekonomik faaliyetleri içerisinde son sıralarda yer almaktadır. Ekonomik faaliyetlerde iş kazası geçiren çalışanların, yıllık olarak madencilik sektöründe iş kazası geçirenlere oranları Şekil 2'te verilmiştir.



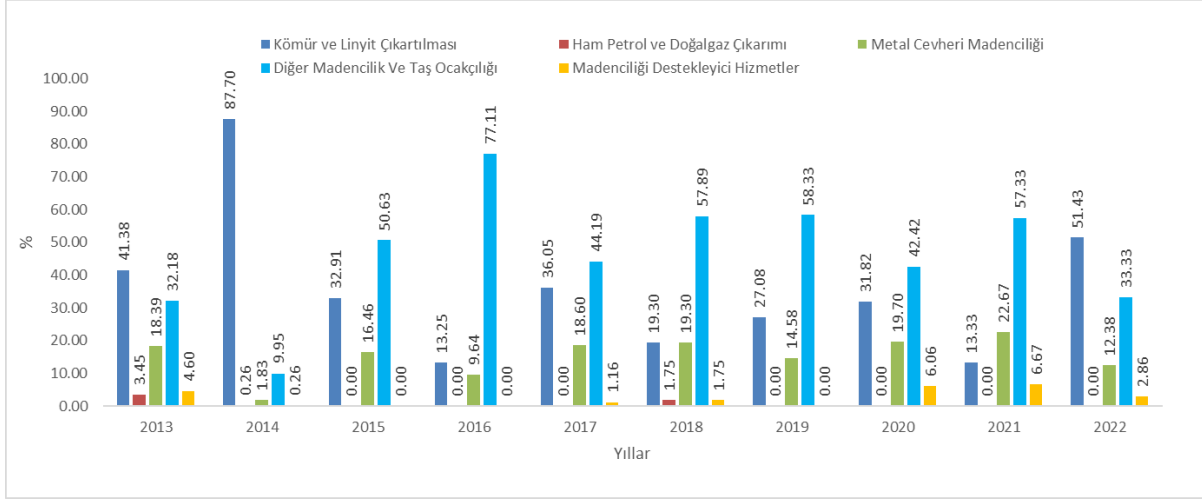
Şekil 2. İş Kazası Geçiren Çalışanların Ekonomik Faaliyetlere Göre Yıllık Dağılımları (%)

Şekil 2'deki oranlar incelendiğinde, madencilik sektöründe son 10 yılda kaza geçirenlerin ortalama %

68,02'sinin kömür ve linyit çıkartılması, %16,13'ünün diğer madencilik ve taş ocakçılığı, %11,30'unun metal

cevheri madenciliği, %3,87'sinin madenciliği destekleyici hizmetler ve %0,68'inin ham petrol ve doğalgaz çıkarımı ekonomik faaliyetinde gerçekleştiği ifade edilebilir. Madencilikte meydana gelen her 100 kazadan 16'sı diğer madencilik ve taş ocakçılığında meydana gelmektedir. Doğal taş sektörünün içinde bulunduğu diğer madencilik ve taş ocakçılığı ekonomik

faaliyeti, tüm madencilik işlemleri içinde iş kazası geçirme oranı olarak 2. sırada yer almaktadır. 2013-2022 yılları arasında madencilik sektöründe 1.068 çalışan iş kazası sonucu hayatını kaybetmiştir. Ekonomik faaliyetlere göre iş kazası sonucu ölen çalışan sayısı, madencilik sektöründe iş kazası sonucu ölen çalışanlara oranlanarak Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Madencilik Sektöründe İş Kazası Sonucu Ölen Çalışanların Ekonomik Faaliyetlere Göre Dağılımları (%)

Şekil 3 incelendiğinde, son 10 yılda iş kazası sonucu ölen çalışanların ortalama % 51,31'inin kömür ve linyit çıkartılması, %35,11'inin ise diğer madencilik ve taş ocakçılığı ekonomik faaliyetinde olduğu söylenebilir. Kömür ve linyit çıkarılmasının ilk sırada yer almasının nedeni 2013 yılında Kozlu'da, 2014 yılında Soma ve Ermenek'te ve 2022 yılında Bartın'da meydana gelmiş olan, yüksek sayıda ölümlü sonuçlanan, iş kazalarıdır. Bu kazalar yaşanmasaydı, doğal taş sektörünün içinde bulunduğu diğer madencilik ve taş ocakçılığı ekonomik

faaliyeti, tüm madencilik işlemleri içinde iş kazası sonucu ölüm oranı olarak da tüm yıllarda ilk sırada yer alacaktı. Doğal taş sektörü özelinde bir değerlendirme yapıldığında, 10 yılda doğal taş sektöründe toplam 11.339 çalışan iş kazası geçirmiş ve iş kazası geçiren çalışanlardan da toplam 226 çalışan hayatını kaybetmiştir. Değerlendirme yapılan yıllar için, doğal taş sektörünün, diğer madencilik ve taş ocakçılığı ekonomik faaliyeti ve tüm madencilik sektörü içindeki kazalanma ve ölüm oranları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Doğal Taş Sektörünün Kazalanma ve Ölüm Oranları (%)

Yıllar	Diğer Madencilik ve Taş Ocakçılığı İçerisinde		Tüm Madencilik Faaliyetleri İçerisinde	
	Kazalanma oranı	Ölüm oranı	Kazalanma oranı	Ölüm oranı
2013	58,51	60,71	6,54	19,54
2014	60,76	84,21	7,25	8,38
2015	52,41	70,00	8,24	35,44
2016	51,05	50,00	8,85	38,55
2017	51,83	57,89	10,08	25,58
2018	50,11	66,67	10,21	38,60
2019	45,09	67,86	7,75	39,58
2020	47,77	50,00	7,81	21,21
2021	47,74	58,14	7,90	33,33
2022	45,43	42,86	7,06	14,29
Ortalama	50,20	60,27	8,10	21,16

Çizelge 2 incelendiğinde, 10 yıllık periyotta, doğal taş sektörünün diğer madencilik ve taş ocakçılığı ekonomik faaliyeti içindeki kazalanma oranının ortalama %50,20 ve ölüm oranının %60,27 olduğu görülmektedir. Doğal taş sektörünün tüm madencilik sektöründe kazalanma oranı %8,10 ve ölüm oranının %21,16 olduğu görülmektedir. Şekil 3'te verilen ekonomik faaliyetlerin ölüm oranlarında diğer madencilik ve taş ocakçılığı %35,11 oranla ikinci sırada yer aldığı ve Çizelge 2'deki doğal taş madenciliğinin ölüm oranının %21,16 olduğu göz önünde bulundurulduğunda, diğer madencilik ve taş ocakçılığı içerisinde doğal taş sektörü harici ölüm oranının da %13,95 olduğu söylenebilir. Bu durumda, iş kazası sonucu ölen çalışanların ekonomik faaliyetlere göre dağılımlarında kömür ve linyit çıkartılmasından sonra doğal taş sektörünün ikinci sırada olduğu söylenebilir (Şekil 3).

Doğal taş sektörünün de içinde bulunduğu diğer madencilik ve taş ocakçılığında yaşanan iş kazalarının niceliksel analizi yapıldığında, istihdamın en fazla olduğu (Çizelge 1), her 100 çalışanından ortalama 4'ünün kaza geçirdiği (Şekil 1), madencilikte meydana gelen her 100 kazadan 16'sının bu ekonomik faaliyette olduğu (Şekil 2) ifade edilebilir. Ayrıca, 2013, 2014 ve 2022 yıllarında yaşanan yüksek sayıda ölümlerle sonuçlanan büyük maden kazalarının yaşanmadığı varsayıldığında, ölüm oranlarına göre %32,35 ile doğal taş sektörü ilk sırada yer alacaktı. Bu nedenle, çalışmada doğal taş sektörünün incelenmesi önem kazanmıştır. Bu kazaların önüne geçmek ancak alınacak ciddi önlemlerle mümkün olup, alınacak İSG önlemlerinin de işletmelere belirli bir maliyet getirdiği bilinmektedir. Bu maliyetin kaza sonucunda ödenecek tüm bedellerden daha ekonomik olduğu ve işletmelere sağladığı faydanın da çok daha büyük olduğu söylenebilir. Bu faydanın büyüklüğünü analiz etmek amacıyla doğal taş sektörünü temsilen bir işletme belirlenmiş, işletmenin 2020 yılına ait İSG harcamaları incelenmiş ve aşağıda verilmiştir.

### 3. İş Sağlığı ve Güvenliğine Yapılan Harcamalar

Bu çalışma, 139 çalışanın bulunduğu bir mermer fabrikasında yapılmıştır. İşletmede iş sağlığı ve güvenliğini iyileştirmek için alınan tedbirlere yönelik yapılan harcamalar, iş sağlığı ve iş güvenliği olmak üzere iki alt başlıkta değerlendirilmiştir.

#### 3.1. İş Sağlığı Önlemleri ve Maliyetleri

6331 sayılı İSG kanunu gereği işletmeler, gürültü, titreşim, toz, hijyen, ilk yardım vb. yönetmelikler ve standartlar gereği ölçümler yapmak ve bu ölçümlerin sonuçlarına göre çeşitli önlemleri hayata geçirmek zorundadırlar. Çalışma kapsamında incelenen işletmenin iş sağlığı kapsamında yaptığı harcamaların türü ve maliyeti Çizelge 3'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 3. İşletmenin İş Sağlığı Önlemleri ve Maliyetleri

İş Sağlığı Önlemleri	Maliyetler (TL)
İşyeri hekimi poliklinik hizmetleri	3.000
İşyeri hekimi ortam gözetimi	1.488
Yemekhane hijyen denetimleri	240
Elle taşıma ergonomi eğitimleri	600
Tütünle savaş	480
Doğum kontrol eğitimleri	600
Giyinme odaları, mescit ve tuvalet hijyen ve sanitasyon denetimleri	480
Kişisel maruziyet gürültü ölçümleri	1.200
Ortam gürültü ölçümleri	1.200
Aydınlatma ölçümleri	1.200
Termal konfor ölçümleri	1.200
Kişisel maruziyet toz ölçümleri	1.200
Ortam toz ölçümleri	1.200
El-kol ve tüm vücut titreşim ölçümleri	1.200
İşe alımda sağlık uygunluğu (SFT, Odyo ve PA akciğer radyografisi)	-
Periyodik sağlık ölçümleri (SFT, Odyo ve PA akciğer radyografisi)	1.200
Covid-19 tedbirleri	48.187
Epoksi çalışanlarında ALT ve AST tetkikleri	600
Epoksi alanında havalandırma periyodik kontrolleri	600
Epoksi alanında VOC ölçümü (bisfenol)	1.200
İşyerinde kullanılan kimyasalların SDS belgeleri	600
Kimyasal ürünlerle çalışanlar için güvenli çalışma eğitimi	600
İlk yardım malzemeleri kontrolü	500
Seyyar sedye	-
İlk yardımcı eğitimleri	1.813
<b>TOPLAM</b>	<b>70.588</b>

İşletmede iş sağlığı alanında 25 farklı önlem alınmaktadır. Bu önlemlerin işletmeye yıllık maliyeti 70,588 TL'dir. Bu önlemlerden en büyük harcama gideri 48,187 TL ile Covid-19 tedbirlerinden kaynaklı olanlardır. Bunlar; çalışanlara maske dağıtımı, rutin yapılan ateş ölçümleri, yemekhanede demir tabldot yerine tek kullanımlık köpük ya da plastik tabldot kullanımının başlaması, çelik çatal kaşık bıçak yerine plastiklerinin verilmesi, cam bardak yerine karton bardak kullanılması, yemekhanede sosyal mesafeye uygun oturma düzeninin oluşturulması, yemek molalarına yeni oturma düzenine göre daha az kişiyle dönüşümlü olarak çıkılması gibi tedbirler ve kapalı alanların belli bir rutinde dezenfekte edilmesinden

oluşmaktadır. İşletmenin Covid-19 tedbirlerinden kaynaklı maliyetleri, iş sağlığı önlemlerinden kaynaklı maliyetlerinin % 68,27'sini oluşturmaktadır.

### 3.2. İş Güvenliği Önlemleri ve Maliyetleri

6331 sayılı İSG kanunu kapsamında, elektrik, iş ekipmanları, mesleki ve acil durum eğitimleri, yangınla mücadele, kişisel koruyucu donanımlarla (KKD) ilgili yönetmeliklere göre işletmelerin yapması gereken düzenlemeler bulunmaktadır. Bu kapsamda işletmenin yapmış olduğu harcamalar Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. İşletmenin İş Güvenliği Önlemleri ve Maliyetleri

İş Güvenliği Önlemleri	Maliyetler (TL)
Risk değerlendirme dokümanı	4.200
Acil durum planı	1.440
Çalışanların eğitimi	2.880
Talimat zimmetleri	1.800
İşe uygun KKD seçimi	257.763
KKD zimmetleri, kullanımın denetlenmesi	2.040
Mükâfatlandırma ve cezalandırma sistemi	-
Ortam ölçümleri	3.000
Hatların İSG ye göre düzenlenmesi	4.320
İş ekipmanlarının periyodik kontrolleri	2.400
Elektrik ve topraklama kontrolleri	1.200
Kaçak akım röleleri	3.600
Makine gövde topraklamaları	1.944
Bakım ve onarım çalışmaları	-
Saha güvenlik denetlemeleri	1.440
İSG Kurulu ve alınan kararlar	3.600
Kaza sıklık oranı ve kaza ağırlık oranı takibi	-
Yüksekte çalışma izinleri	960
Mesleki eğitimler	-
Usta belgeli çalışan istihdamı	2.160
Acil durum eğitimleri	3.000
Acil durum tatbikatları	1.440
Yangın eğitimleri	1.200
Havalandırma sistemleri	-
Makine muhafaza ve korkulukları	-
Yangın söndürme cihazları	-
<b>TOPLAM</b>	<b>300.387</b>

İşletmede iş güvenliği alanında 26 farklı önlem alınmış ve bu önlemlerin işletmeye maliyeti 300.387 TL olmuştur. Bu önlemlerden en büyük harcama gideri 257.763 TL ile KKD temininden kaynaklanmıştır. İşletmede KKD olarak, iş ayakkabısı, baret, gözlük, kulak tıkacı, manşonlu kulaklık, emniyet kemeri, iş eldiveni vb. donanımlar kullanılmaktadır. İşletmenin KKD temininden kaynaklı maliyeti, iş güvenliği maliyetlerinin %85,81'ini oluşturmaktadır.

İşletmenin 2020 yılına ait iş sağlığı ve güvenliği maliyetlerinin toplamı 370.975 TL'dir. Bu maliyetlerin 70.588 TL'si iş sağlığı önlemlerinden ve 300.387 TL'si ise iş güvenliği önlemlerine aittir. Diğer bir ifadeyle, iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin toplam maliyetlerinin %19,03'ü iş sağlığı önlemlerinden, %80,97'si ise iş güvenliği önlemlerinden oluşmaktadır. Fabrikanın iş sağlığı ve güvenliği önlemleri değerlendirildiğinde, Covid-19 tedbirlerinden kaynaklı maliyetlerin tüm iş sağlığı ve güvenliği maliyetlerinin %12,99'unu, KKD temininden kaynaklı maliyetlerin ise %69,48'ini oluşturduğu söylenebilir.

Çalışmaya konu olan mermer fabrikasından alınan bilgilere göre işletmenin yıllık cirosu 74.523.957,48 TL olarak gerçekleşmiştir. 2020 yılında iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinden kaynaklı maliyetler işletme cirosunun %0,498'ine karşılık gelmektedir. İSG alanında yapılan harcamalarının işletmeye sağlayabileceği faydaların mali karşılığını hesaplamak güç olmakla birlikte, ÇSGB 2010 yılında yayımladığı raporda Fayda-Maliyet Analizi için örnek bir çalışma yapmıştır. Bu rapor göz önüne alınarak, işletmenin İSG harcamalarının fayda-maliyet analizleri yapılmış ve detayları aşağıda verilmiştir.

### 4. İş Sağlığı ve Güvenliği Harcamalarının Fayda-Maliyet Analizi

ÇSGB İSGGM, 2010 yılında "İş Sağlığı ve Güvenliği Fayda-Maliyet Analizi Proje Raporu" yayımlamıştır. Rapor imalat, maden, inşaat ve diğer sektörlerden oluşan 53 işletmede yapılan anket çalışmasına dayanarak hazırlanmıştır. Raporda İSG faydaları, üretim kesintilerinin önlenmesi, hurda/fire ve kesintilerin önlenmesi, çalışan motivasyonu katma değeri, ürün kalitesi katma değeri, yenilik katma değeri, işletme imajı katma değeri alt başlıklarında toplanmıştır. Raporda, çalışan başına İSG maliyetini ortalama 2.357,72 TL ve İSG faydalarını ortalama 4.646,65 TL olarak belirlemişlerdir.

Bu çalışmadaki verilerin üzerindeki enflasyonun etkisini yok etmek için, 2010-2023 yılları arasında gerçekleşen ÜFE'ye göre (Çizelge 5) düzeltmeler yapılmıştır. Düzeltme yapılırken 2023(Eylül) yılı baz yıl olarak belirlenmiş ve dönüşüm için Eşitlik 1 (Önder, 2006) kullanılmıştır.

$$I_{i/t} = \frac{I_{i/0}}{I_{t/0}} \times 100 \quad (1)$$

Burada; t baz yılı, i ise cari yılı ifade etmektedir.

Sabit fiyatla çalışmak için Eşitlik 2 kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

$$\text{Sabit fiyat} = \frac{\text{Baz yıl fiyat indeksi}}{\text{Cari yıl fiyat indeksi}} \times \text{Cari fiyat} \quad (2)$$

Çizelge 5. 2010-2023 Üretici Fiyat İndeksleri

Yıllar	ÜFE	2023=100 fiyat indeksi
2023	2.749,98	100,00
2022	2.021,19	73,50
2021	1.022,25	37,17
2020	568,27	20,66
2019	454,08	16,51
2018	422,94	15,38
2017	316,48	11,51
2016	274,09	9,97
2015	249,31	9,07
2014	235,84	8,58
2013	221,74	8,06
2012	207,29	7,54
2011	202,33	7,36
2010	178,54	6,49

Verileri günümüz fiyatlarına uyarlamak amacıyla Çizelge 5'deki ÜFE verileri kullanılarak, ÇSGB İSGGM raporunda 2010 yılı fiyatları ile iş sağlığı ve güvenliği harcamalarının karşılık geldiği kişi başı rakamsal kazanç tutarları, 2023 yılına göre tekrar hesaplanmış ve Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. 2010 Cari Fiyatları Ve 2023 Sabit Fiyatlarıyla İSG Maliyeti ve Faydaları (Çalışan başına TL)

	Yıllar	Min.	Max.	Ort.
Maliyet	2010	29,10	2.8737,38	2.357,72
	2023	448,22	442.630,34	36.315,02
Fayda	2010	132,00	54.800,00	4.646,65
	2023	2.033,14	844.062,42	71.570,49

İşletmenin 2020 yılı verileri, 2023 sabit fiyatlarıyla güncellenmiş, Çizelge 6'da verilen değerler de kullanılarak işletmeye İSG faydaları hesaplanmış ve Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. İşletmenin 2020 Cari Fiyatları ve 2023 Sabit Fiyatlarıyla İSG Maliyeti ve Faydaları (TL)

		2020 fiyatları	2023 sabit fiyatları
Maliyet	Toplam	370.975,00	1.795.227,00
	Çalışan başına gerçekleşen	2.668,89	12.915,30
	Ort.	2.055.767,00	9.948.297,55
Fayda	Min.	58.399,46	282.606,88
	Max.	24.244.574,60	117.324.676,02

Çizelge 7'de verilen "İşletmede çalışan başına gerçekleşen İSG maliyeti" İSG harcamalar toplamının 139 çalışana bölünmesi ile hesaplanmıştır. Toplam İSG faydası ise "İş Sağlığı ve Güvenliği Fayda-Maliyet Analizi Proje Raporu" verilerinin 2023 yılının sabit fiyatlarıyla hesaplanmış değerlerine göre belirlenmiştir. İşletmenin İSG maliyetleri rapordaki ortalama değerlerin %35,56'sına karşılık gelmektedir. Diğer bir ifade ile %64,44 oranında daha az İSG maliyeti söz konusudur. Ciroyunun %0,498'ini İSG için ayıran işletmenin 2020 fiyatları ile minimum 58.399,46 TL, maksimum 24.244.574,60 TL, ortalama ise 2.055.767 TL fayda kazanacağı tahmin edilebilir. İşletmede ortalama İSG faydaları, İSG maliyetlerin yaklaşık 5,54 katı olarak belirlenmiştir. 2023 fiyatları ile minimum 282.606,88 TL, maksimum 117.324.676,02 TL, ortalama ise 9.948.297,55 TL fayda kazanacağı tahmin edilebilir.

Çizelge 6'dan elde edilen 2023 sabit fiyatlarıyla İSG maliyet ve faydaları, diğer madencilik ve taş ocakçılığında son iki yılda istihdam edilen çalışan sayısı göz önünde bulundurularak ortalama 65.000 çalışan olduğu kabul edilmiş (Çizelge 1) ve ülkemizin bu alanda yapacağı maliyet ve kazanacağı tahmin edilen fayda Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8. 2023 Sabit Fiyatlarıyla Diğer Madencilik ve Taş Ocakçılığı için İSG Maliyeti ve Faydaları (TL)

		2023 sabit fiyatları	ÇSGB raporuna göre	Çalışmaya göre
Maliyet	Ort.	2.360.476.000	4.652.081.589	13.077.037.038
	Min.	29.134.016	132.154.298	161.402.447
	Max.	28.770.971.863	54.864.057.130	159.391.184.121
			Fayda	

Çizelge 8 incelendiğinde 2023 sabit fiyatlarıyla, sadece diğer madencilik ve taş ocakçılığı çalışanları için İSG alanında alınan önlemlerin ortalama toplam maliyeti 2.360.476.000 TL, faydası ise 4.652.081.589 TL olarak belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen maliyetin 5,54 katına göre bu fayda 13.077.037.038 TL olarak hesaplanmıştır. İSG harcamasına karşılık elde edilecek faydanın büyüklüğü dikkat çekicidir. İSG için yapılan harcamaların uzun vadede ülkemiz için çok daha büyük kazançlar sağlayacağı gerçeği bu çalışmada rakamlarla ifade edilmiş olup, elde edilen bu değerlere göre İSG için yapılan harcamaların geleceğe yönelik büyük yatırımlar olduğu ifade edilebilir.

## 5. Sonuçlar

Madencilik sektörü kaza olabilirlik oranına göre, Türkiye'deki tüm sektörler içerisinde ilk sırada yer almaktadır. SGK kayıtlarına göre, 21 sektörden birisi olan madencilik sektörü, kömür ve linyit çıkartılması, ham petrol ve doğalgaz çıkarımı, metal cevheri madenciliği, diğer madencilik ve taş ocakçılığı, madenciliği destekleyici hizmetler olmak üzere 5 ekonomik faaliyetten oluşmaktadır. 2013-2022 yılları arasındaki SGK kayıtları değerlendirildiğinde, madencilik sektöründe çalışan her 1000 çalışandan 100 çalışan iş kazası geçirmekte ve iş kazası geçiren her 1000 çalışandan 76 çalışan hayatını kaybetmektedir. 10 yıllık ortalama, doğal taş sektörünün diğer madencilik ve taş ocakçılığı içinde kazalanma ve ölüm oranları %50,2 ve %60,27, tüm madencilik sektöründe ise, %8,1 ve %21,16 olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, İSG harcamalarının fayda-maliyet analizini yapmak amacıyla, bir mermer fabrikasının 2020 yılına ait verileri kullanılmıştır. Bu veriler işletmenin iş sağlığı ve iş güvenliğine yapmış olduğu harcamaların mali büyüklüğünden oluşmaktadır. İşletmenin 370.975 TL olan iş sağlığı ve güvenli maliyetlerinin %19,03'ünün iş sağlığı, %80,97'sinin ise iş güvenliği önlemlerinden oluştuğu tespit edilmiştir. İş sağlığı ve güvenliği maliyetlerinde en yüksek oranın %69,48 ile KKD temininden ve %12,99 ile Covid-19 tedbirlerinden kaynaklı maliyetler olduğu görülmüştür. Mermer fabrikasının 2020 yılında iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinden kaynaklı maliyetlerinin işletme cirosunun %0,498'ine karşılık geldiği belirlenmiştir.

Yapılan fayda-maliyet analizinde, ÇSGB İSGGM'nün 2010 yılında "İş Sağlığı ve Güvenliği Fayda-Maliyet Analizi Proje Raporu" verileri, çalışmanın yapıldığı

mermer fabrikasının 2020 yılına ait verileri ve yıllık ÜFE değerleri kullanılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde 2023 (Eylül) yılı baz alınarak veriler üzerinde enflasyonun etkisi yok edilmiş ve değerlendirmeler bu veriler üzerinden yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda, ÇSGB İSGGM raporunda 2 kat olarak belirlenen fayda-maliyet oranı çalışmanın yapıldığı mermer fabrikası için 5,54 kat olarak belirlenmiştir.

Fayda-maliyet analizi sonucunda, İSG harcamalarının 2023 yılı fiyatlarıyla işletmeye maliyeti yaklaşık 1,8 milyon TL, sağladığı fayda ise ortalama 10 milyon TL olarak belirlenmiştir. Sadece diğer madencilik ve taş ocakçılık ekonomik faaliyeti özelinde değerlendirildiğinde ve bu faaliyetin ortalama çalışan sayısının 65000 olduğu kabul edildiğinde, ülke ekonomisine sağlayacağı faydanın ortalama 13 milyar TL olması beklenebilir.

İşletmelerin İSG önlemleri için yaptığı harcamaların sadece işletmeye değil, ülke ekonomisine de büyük kazançlar sağlayacağı göz ardı edilmemelidir. Yapılan bu değerlendirmeler ışığında, iş sağlığı ve güvenliğini sağlamak adına alınacak önlemlerin maliyetinin, harcama olarak değil; geleceğe yatırım olarak görülmesi gerçeği ortaya konulmuştur.

## Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada, tüm yazarlar makalenin oluşturulmasında eşit katkı düzeyine sahip olmakla birlikte; Seyhan ÖNDER, ekonomik analizler; Ece KUNDAK, SGK verilerinin derlenmesi; Mustafa ÖNDER, işletme veri derlemesi ve makalenin kapsamının oluşturulması konularında katkı sağlamışlardır.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

- AÇSHB. (2020). İstatistiklerle Türkiye'nin İSG Görünümü, 63 s, 24.sayfa, Ankara.
- Bilim, A., Bilim, N. ve Dünder, S. (2023). İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Türkiye'deki Riskli Sektörlerin Belirlenmesi, Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 7(3), 129-138. doi: 10.33720/kisgd.1255661

ÇSGB İSGGM. (2010). İş Sağlığı ve Güvenliği Fayda-Maliyet Analizi Proje Raporu. 24 syf.. Ankara

Koç, M., Akbıyık, N. (2011). Türkiye’de iş kazalarının maliyetleri ve çözüm önerileri. Akademik Yaklaşımlar Dergisi , 2 (2) , 129-175 . Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ayd/issue/3326/46159>

Mustard, C. A., & Yanar, B. (2023). Estimating the financial benefits of employers’ occupational health and safety expenditures. Safety science, 159. doi:10.1016/j.ssci.2022.106008

Önder, S. (2006). Türkiye bor madenciliğinde verimlilik analizleri (Doktora Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

SGK. (2023). İstatistik yıllıkları. Erişim adresi: [http://eski.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk\\_istatistik\\_yilliklari](http://eski.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari).

The cost of accidents in the workplace. (2018). Erişim adresi:<https://www.thompsons.law/support/legal-guides/the-cost-of-accidents-in-the-workplace>

Work Injury Costs. (2021). Erişim adresi:<https://injuryfacts.nsc.org/work/costs/work-injury-costs/>

World Economic Forum. (2017). More than 2 million people die at work each year. Here’s how to prevent it. Erişim adresi: <https://www.weforum.org/agenda/2017/03/workplace-death-health-safety-ilo-fluor/>



## UMREK KODUNA GÖRE ÇAYIRHAN B LİNYİT SAHASININ REZERV KESTİRİMİ

Ferhat BÜYÜKBAŞ<sup>1</sup>, Mahmut YAVUZ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> POLYAK Enerji A.Ş, Bergama, İzmir,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-1812-6272>

<sup>2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-6215-8557>

Anahtar Kelimeler	Öz
Kaynak/rezerv kestirimi Hacim/tonaj Kömür Çayırhan B linyit sahası UMREK Kodu	<p>Maden yataklarının kaynak ve rezervleri ile kalitesinin belirlenmesi için, maden yatağı hakkında yeterli bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı, kaynak ve rezervler bu bilgilerin nitelik ve niceliklerinin yeterliliği ölçüsünde belirlenmekte ve sınıflandırılmaktadır. Bir maden sahasında yapılan arama ve ilgili değerlendirme çalışmaları sonucunda yatağın hacmi ve tonajının yanı sıra fiziksel, jeokimyasal, jeolojik, mineralojik ve yapısal özellikleri de belirlenmektedir. Bu çalışmalar yardımıyla yatakta gerçekleştirilen proje faaliyetinin teknolojik, ekonomik, hukuki, çevresel ve sosyal boyutlarını ortaya çıkarmak için yapılan tüm çalışmaların bileşimi, o yatağın kaynağının/rezervinin belirlenmesine esas teşkil etmektedir. Madencilik, doğası gereği büyük riskler taşıyan, yatırım maliyetlerinin yüksek olduğu ve yatırımın geri dönüşünün uzun zaman aldığı bir sektördür. Öte yandan madencilik sektöründe getiri oldukça yüksektir. Arama faaliyetleri sonucunda keşfedilen madenin miktar ve kalitesinin tahmin edilmesindeki zorluklar, risklerin ana nedenidir. Bu risklerin azaltılması için arama dönemi ve sonrasında bilimsel, teknolojik ve çok disiplinli çalışmalar büyük önem taşımakta olup, uluslararası standartlara uygun numune analizlerinin akredite laboratuvarlarda yapılması ve yetkin kişiler tarafından raporlanması gerekmektedir. Bu sayede çalışmalar açık, şeffaf ve güvenilir olacak, mühendisler, yatırımcılar, finans kuruluşları gibi konu ile ilgili kişilerin fikir birliğine varması sağlanacaktır. Bu çalışmada, Ankara ili Beypazarı ilçesi sınırları içerisinde yer alan Çayırhan B linyit sahasının UMREK (Ulusal Maden Kaynak Rezerv Raporlama Komisyonu) Kodu'na göre rezerv miktarının kestirimi amaçlanmıştır. Rezerv kestirim çalışması, sahada daha önce MTA ve Palaris firması tarafından yapılan kaynak kestirim raporu doğrultusundaki çalışmanın devamı niteliğindedir.</p>

## RESERVE ESTIMATION OF ÇAYIRHAN B LIGNITE FIELD ACCORDING TO THE UMREK CODE

Keywords	Abstract
Resource/reserve estimation Volume/tonnage Coal Çayırhan B lignite field UMREK Code	<p>To determine the resources, reserves, and quality of mineral deposits, sufficient information about the mineral deposit must be obtained. Therefore, resources and reserves are determined and classified according to the adequacy of the quality and quantity of this information. Because of the exploration and related evaluation studies carried out in a mining area, not only the volume and tonnage of the deposit but also its physical, geochemical, geological, mineralogical, and structural properties are determined. With the help of these studies, the composition of all studies carried out to reveal the technological, economic, legal, environmental, and social dimensions of the project activity carried out on the deposit is the basis for determining the resource/reserve of that deposit. Mining is a sector that inherently carries great risks, has high investment costs, and takes a long time to return on investment. On the other hand, the return is quite high in the mining sector. The difficulties in estimating the quantity and quality of the mineral discovered because of exploration activities are the main reasons for the risks. To reduce these risks, scientific, technological, and multidisciplinary studies during and after the exploration period are of great importance, and sample analyses by international standards should be carried out in accredited laboratories and reported by qualified persons. In this way, the studies will be open, transparent, and reliable, and a consensus of people related to the subject such as engineers, investors, and financial institutions will be achieved. In this study, it is aimed</p>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*to estimate the reserve amount of Çayırhan B lignite field located within the borders of Ankara province Beypazarı district according to the UMREK (National Resources and Reserves Reporting Committee) Code. The reserve estimation study is a continuation of the study in line with the resource estimation report previously carried out by MTA and Palaris in this field.*

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 04.01.2024	Submission Date	: 04.01.2024
Kabul Tarihi	: 11.03.2024	Accepted Date	: 11.03.2024

\* Sorumlu yazar: [myavuz@ogu.edu.tr](mailto:myavuz@ogu.edu.tr)  
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1414530>

## 1. Giriş

Madencilik, büyük risk taşıyan bir sektördür. Bu riskin ana nedeni aramalar sonucunda ortaya çıkarılacak kaynağın nicelik ve niteliklerinin tahmin edilmesindeki zorluklardır. Madencilikte büyük riskle birlikte yatırım tutarı da oldukça yüksektir. Bu riskin azaltılması, aramaların her aşamasında ve aramalardan sonra yapılacak bilimsel ve teknolojik çalışmalara bağlıdır.

Maden arama, araştırma ve üretimi esnasında yapılan çalışmaların, üretilen verilerin uluslararası standartlara uygun, akredite laboratuvarlarda analiz ve testleri yapmış ve yetkin teknik elemanlar tarafından raporlanması, bu çalışmaların açık, şeffaf ve güvenilir olması ile küreselleşen dünyada ve serbest piyasa ekonomisi koşullarında mühendisler, planlamacılar, madenciler, yatırımcılar ve finans kuruluşları arasında görüş birliği sağlanmaktadır.

Uluslararası ticaretin ve madencilik yatırımlarının artması sebebiyle uluslararası kabul edilebilir bir rezerv/kaynak sınıflandırma sistemi oluşturma ihtiyacı doğmuştur. Maden Kaynağı, yer kabuğu üzerinde veya içinde ekonomik kazanç sağlayan; tenör, kalite ve miktar açısından ekonomik olarak işletilmesi mümkün alanlarda yuvalanmış taşıl oluşumdur. Maden Rezervi ise, ölçülmüş ve/veya belirlenmiş Maden Kaynağının ekonomik olarak işletilebilir kısmıdır. Dünyada halen farklı isim ve tanımlamalarla çok sayıda rezerv ve kaynak sınıflandırılmaları kullanılmaktadır. Projeksiyonlar ve maden kalkınma planları ancak güvenilir maden envanteri verileri üzerine yapılması şartıyla ekonomide ve madencilikte sürdürülebilir planlama ve kalkınma sağlayabilir. Yatırımcılar ise, yatırım risklerini kaynak güvenilirliğini esas alan sınıflandırmalar doğrultusunda yapmak ve belirlemek durumunda olacaklardır. Bu açıdan, yer kabuğunda doğal halde bulunan madenlerin tanımlanması ve sınıflandırılması büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada genel olarak, cevher kaynak-rezerv tahmin teknik raporlarının nasıl bir yaklaşımla hazırlanması gerektiği; kaynak envanterinin rezerv envanterinin öncüsü olduğu; teknolojik (cevher zenginleştirme; faydalı konsantrasyon veya nihai metal/bileşik eldesi), hammadde erişilebilirliği,

çevresel, ekonomik, idari, sosyal vb. parametrelere bağlı olarak rezerv tahmin envanterinin belirlenmesinde önemli rol oynadığı aktarılmıştır. Bu bağlamda rezerv tahmin envanteri, jeolog, hidrojeolog, harita mühendisi, maden mühendisi, cevher hazırlama mühendisi ve/veya metalürjist, çevre mühendisi, ekolog, sosyolog, sosyal psikolog, halkla ilişkiler uzmanı, finans ve maliyet muhasebesi uzmanı gibi çok disiplinli bir ekibin ortak çalışması ile ortaya konulması ve kapsamlı bir ön fizibilite çalışmasının yer alması gereklidir. Ayrıca, artık bu tür teknik raporların (doğal olarak raporda sunulan envanter tablolarının) uluslararası arenada kabul görmesi için Yetkin Kişi olarak bizzat belgelendirilmiş uzmanlar tarafından veya bunların denetim ve onayıyla yazıldıktan sonra onaylanması zorunludur. Aksi durumlarda bu teknik raporların hiçbir ulusal veya uluslararası kuruluş tarafından tanınması, bilgilendirme veya başka amaçlarla kullanılması mümkün değildir.

Çalışma, ulusal UMREK koduna uyumlu bir rezerv tahmin raporu olacak mahiyette ilk çalışma olduğundan ulusal kaynakçaya önemli bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca çalışma, bir yeraltı linyit yatağındaki en iyi uygulamalardan bir tanesi olarak da gösterilebilme potansiyeline sahiptir.

Bu çalışma, sahada daha önce Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) ve Palaris firması tarafından yapılan kaynak kestirim raporu (Bamberry, Barker, Willis, ve Shepherd, 2017) doğrultusundaki çalışmanın devamı niteliğindedir. Kestirimi yapılacak olan rezervlerin temeli söz konusu bu iki çalışmaya dayanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda sahada yapılmış olan yerüstü sondajlardan yeniden üretime yönelik veri tabanı oluşturulmuştur. 3 boyutlu madencilik yazılımı olan Micromine programı ile blok model oluşturulmuştur. Daha sonra blok modelden katı modele geçiş yapılmıştır. Oluşturulan blok modelde her bir bloğa ait kalite öznelik değerlerinin (kalori, kül, nem, uçucu madde, sabit karbon, yanar kükürt ve külde kükürt) kestirimi yapılmıştır. Kestirim yöntemi olarak ters uzaklığın ağırlıklı enterpolasyonu (Inverse Distance Weighting-IDW) yöntemi kullanılmıştır. Sahada MTA tarafından ortaya konulan yapısal jeolojiye göre de ana faylar belirlenmiş, tektonik yapılar büyük ölçüde modele oturtulmuştur. Mevcut veriler ışığında bir

Maden Planı tasarlanmış ve buna göre de rezerv kestirimi yapılmıştır.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Yirminci yüzyıla kadar madencilik faaliyetleri genelde küçük ölçekli şeklinde devam eden ve yüzeyde görülen (mostra madenciliği) bilindik madenlerin herhangi bir tasarım ve planlama yapılmadan üretilmesiyle gerçekleşmiştir. Yirminci yüzyıla kadar devam eden bu süreçte, arama çalışmaları, maden kaynak ve rezerv tahminleri ile ilgili kavram, sınıflama, standart ve düzenlemelere ihtiyaç duyulmamıştır. Ocak ve üretim planlamasının önemi arttıkça rezervleri önceden tahmin etme çabaları doğmuştur. 1960'lı yıllarda ise çok sayıda maden rezerv tahminleri yapılmıştır (Özkan, 2017).

Yanlış, yetersiz çalışmalar ve yanıltıcı raporlar yatırımcıların, finansörlerin ve kamunun zarara uğramasına neden olmaktadır. Bu dönemde işletmeye alınan yatakların madenlerin çoğu rezerv kaynaklı sorunlar nedeniyle kapanmıştır. Bu konuya detaylı olarak bir sonraki bölümde değinilmiştir.

Westman (1999) tarafından yapılan çalışmada; Güneybatı Virjinya eyaletindeki kömürlerin hangi kısımlarının ekonomik olarak çıkarılabileceği belirlenmiştir. 3.950,0 Mt kömürün yaklaşık %14'ünün mevcut madencilik koşulları altında ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu oran içinde kalan rezervlerin çoğunun derinlerde olduğu da belirtilmiştir.

JORC (Joint Ore Reserves Committee) Kodu'nda (2012); arama sonuçlarının değerlendirilmesi, maden kaynakları ve rezerv raporları hakkındaki açıklamaların raporlandığından bahsedilmiştir. Raporu hazırlayan Yetkin Kişi'nin rapor içeriğindeki tüm bilgileri kabul etmiş sayıldığından söz edilmiştir. Kaynak ve rezerv ile ilgili terminolojiden ve kaynaktan rezerve geçiş süreci konu alınmıştır. Raporun olması gerekli kapsamına değinilmiş ve JORC kodu ekinde sunulan kontrol tablolarının raporlama süresince doldurulması gerektiği vurgulanmıştır. Söz konusu kod raporlama için minimum standartları belirleyen bir çalışma niteliğindedir.

Tercan, Ünver, Hindistan, Ertunç, Atalay, Ünal, ve Kılıoğlu (2012) yaptıkları çalışmada, Batı Anadolu linyitlerinin bazı tektonik ve değişken kömür kalitesinden kaynaklı tahmini ve modellemesinin zorluğundan bahsetmektedirler. Söz konusu çalışma, Soma Eynes ve Tunçbilek Ömerler kömür sahalarının basit ama etkili bir madencilik yöntemi olan süreksizlikleri tanımlama yolunun hayati önem taşıdığına önemine değinilmiştir. Sondajlardan alınan örneklerden istatistiksel analiz yapılmış ve modellemede bu faylar modele dâhil edilmiştir.

Özkan ve Akbaba (2013) yaptıkları derleme çalışmasında, madencilik projelendirme/planlama

ihtiyaçlarına cevap verebilecek kaynak modelleri nasıl türetilebilir, örnekleme ve tahmin hataları nasıl azaltılabilir ya da istenilen sınırlar içinde tutulabilir, kaynak sınıflandırmasında tahmin güvenilirliği düzeyleri nasıl yansıtılabilir, denetlenebilir ve tekrarlanabilir, kaynak tahminleri nasıl yapılır sorularına cevap aramışlardır.

Aktan (2015) tarafından yapılan çalışmada, Sağırlar ve Çivili (Bursa Orhaneli) sahalarındaki linyit damarları modellenmiş, kaynak miktarı ve özellikleri jeostatistiksel olarak 2 boyutta kestirilmiştir. Buna göre iki sahanın aralarında yaklaşık 2 km'lik bir mesafe bulunmasına rağmen, farklı bir kömür oluşumuna sahip oldukları, kalite özellikleri açısından benzeşmedikleri tespit edilmiştir. Buna göre Sağırlar sahasında ortalama 3.077 kCal/kg alt ısıl değere sahip yaklaşık 11,7 Mt; Çivili sahasında da ortalama 2.311 kCal/kg alt ısıl değere sahip 14,6 Mt olmak üzere toplamda 26,3 Mt kaynak hesaplanmıştır.

Özdemir (2015) tarafından yapılan çalışmada, bir kömür sahasının Micromine programı kullanılarak blok modellemesi ve açık ocak üretim tasarımı yapılmıştır. Yaklaşık 158M m<sup>3</sup> dekapaja karşılık 66,96 Mt rezerv kestirimi yapılmış ve örtü kazı oranı 2,36 m<sup>3</sup>/t olarak hesaplanmıştır.

Magnus (2017) yaptığı tez çalışmasında; Witbank kömür yatağındaki kompleks kömür sahasınının kaynak sınıflandırmasındaki alternatif metodlardan bahsetmiştir. SAMREC (Güney Afrika), JORC (Avustralya), NI 43-101 (CANADA) vb. CRIRSCO'ya (Combined Reserves International Reporting Standarts Committee) üye ülke standartlarının sondaj arası mesafenin standart alındığından ve bu durumun tatmin edici olmadığından bahsedilmiştir. Söz konusu havzada 14 kömür madenindeki sondaj arası mesafeleri karşılaştıran bir çalışma konu edinilmiştir. Sondaj arası mesafenin, damarın jeolojik yapısına bağlı olduğu ve jeostatistiğin jeolojiyi doğrulaması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Rahman, Quamruzzaman, Ahmed, Islam, Hossain, ve Khan (2017) yaptıkları çalışmada; Khalashpir kömür sahasındaki rezervin bir bilgisayar yazılımıyla ve bilgisayar kullanmadan el yordamıyla hesaplandığından söz etmiştir. Havzada ortalama 37,21 m kalınlığa sahip 8 ayrı kömür damarı olduğu ve 184,19 Mt kanıtlanmış kömür rezervi kestirimi konu edilmiştir. Tasmanlardan dolayı dolgu uzunayak üretim yönteminin en uygun üretim yöntemi olduğuna değinilmekte ayrıca akiferin kırılmasından dolayı üretimi sekteye uğratacağı ve maden üzerindeki tarım arazilerinin kullanılamaz hale geleceği vurgulanmaktadır.

UMREK Kodu'nda (2023), yer kabuğunda bulunan katı maden kaynakları ve ekonomik değere sahip madenlerde Arama Sonuçlarının, Maden Kaynakları ve Maden Rezervlerinin raporlanmasında

uygulandığından söz edilmiştir. Raporların Yetkin Kişiler tarafından hazırlanabileceği ve raporlarda isimlerinin yer alması gerektiği belirtilmiştir.

CIM (2019) yaptığı en iyi uygulama (best practice) çalışmalarında, öncelikle maden rezervlerinin tahmininin bir dizi teknik disiplini içeren bir ekip çalışması (jeolog, maden mühendisi, metalurjist, çevre-sosyal izin-ekonomik modelleme uzmanı vb.) olması gerektiğinin öneminden bahsetmişlerdir. Çalışmanın rezerv olarak kabul edilebilmesi için, en azından ön fizibilite (prefizibilite) çalışmasının yapılması gerektiğine değinilmiştir. Yine maden rezervini desteklemek için bir maden planı tasarımının var olması gerektiği vurgulanmıştır.

Stanmore kömür şirketi (Clifford ve Poole, 2019) yaptığı çalışmada; her yıl güncel kömür kaynak ve rezervlerinin son sürüm JORC kodu kapsamında bir rapor ile yayınlandığından bahsetmiştir. Raporu yazan yetkin kişilerin özgeçmişinin de yer alması gerektiğini açıklamıştır. Söz konusu çalışmada güncel kömür kaynak ve rezervine ilişkin bilgilere, yetkin kişinin sahaya ziyaret edip etmediğine, ettiyse yorumlamalarına eğer etmediyse neden etmediği gibi bilgilerin de yer aldığı bir raporu içeren bilgilere yer verilmiştir.

Küçükkarasu (2019) yaptığı çalışmada, Çorum ili sınırları içerisinde yer alan Alpagut – Dodurga linyit sahalarının kaynak miktarının kestirimini yapmıştır. Kesit alma yöntemi ile jeolojik katı model elde edilmiş olup blok model oluşturularak her bir bloğa ait kalite öznelik değerleri (kalori, kül, nem) atanmıştır. Çalışmanın sonucunda linyit damarları 3 boyutlu olarak modellenmiş ve kaynak miktarı yaklaşık 19,5M m<sup>3</sup> ve alt ısıl değeri 2886 kcal/kg olarak hesaplanmıştır. Ortalama kül miktarı %18,24 ve ortalama nem miktarı ise %20,6 bulunmuştur. Ayrıca çalışmada; sıcaklık ve nemin insan vücudu üzerindeki etkisi araştırılarak, işçiler için uygun çalışma koşullarının belirlenmesi amacı ile kullanılan yaklaşımlar incelenmiştir. Isı stresinin belirlenmesinde kullanılan yaklaşımları temel alan bir bilgisayar paket programı hazırlanmış ve bu programın özellikle derin yeraltı ocaklarında ısı stresi analizine getireceği avantajlar açıklanmıştır.

Yukarıda kaynak-rezerv kestirimi ile ilgili yapılan çalışmaları kısaca özetlenmeye çalışılmıştır. Genel olarak maden kaynak-rezerv tahmin raporlarının nasıl hazırlandığı, içeriklerin neler olduğu, rezerv tahmini için en az ön-fizibilite yapılması gerektiği, maden rezerv tahmininin teknik disiplini içeren bir ekip çalışması olması gerektiğinin, raporu yazan kişinin Yetkin Kişi olması gerektiğinin öneminden bahsedilmiştir. Bu çalışmada, UMREK koduna uygun bir "Rezerv Raporu" formatına uygun belki de ilk çalışma olması sebebiyle, ayrıca birinci yazarın UMREK Yetkin Kişisi olması nedeniyle alanda ilk olacaktır.

### 3. Yöntem

Doğal kaynaklar, ülkelerin ana zenginlik unsurlarından olup, maden kaynakları da doğal kaynakların önemli bölümleridir. Ülkeler bu kaynakları esas alan projeksiyonlarını ve kalkınma planlarını yapmak, girişimciler ise kaynak güvenilirliğini esas alan sınıflandırmalar doğrultusunda yatırım risklerini belirlemek durumundadırlar. Bu açıdan, yer kabuğunda doğal halde bulunan madenlerin tanımlanması ve sınıflandırılması önemlidir.

Raporlamalarda uygulanması gerekli standartlar: yatırım riskinin asgari düzeye indirilmesi ve olası manipülasyonların önüne geçilebilmesi için ihtiyaç haline gelmiştir. 1969 yılında Avustralya'da "Poseidon Skandalı" ve 1997 yılında ise Kanada'da "Bre-X Skandalı" olarak bilinen iki önemli olay bu süreci tetiklemiştir (Branan, 2007).

Poseidon skandalında, ilgili firma 1969 tarihinde Avustralya borsasına gönderdiği yazıda; kendisine ait ruhsat sahasında yaptığı bir sondajda yüksek tenörlü (%3,5 Ni, %0,5 Cu) nikel-bakır cevheri tespit ettiğini, cevher zuhurunun 1000 ft (304,8 m) uzunluğunda ve 65 ft (19,812 m) kalınlığında olduğunu belirtmiştir. Bu bilginin borsa tarafından yayınlanması üzerine 1,15 \$ seviyesinde işlem gören hisse senetleri hızlı bir yükselişe geçerek 1970'li yılların başlarında 280 \$'a kadar ulaşmıştır. Sonradan bu haberin uydurma olduğu anlaşılmış, şirket batmış ve hisse senedi alanlar büyük zararlara uğramışlardır. Yaşanan bu skandal üzerine 1971 yılında Avustralya hükümeti çözüm arayışına girmiş ve borsaya müdahil olan tüm taraf temsilcilerin içinde yer aldığı bir komite kurarak, 1989 yılında maden arama sonuçlarının rapor edilmesi standartlarını içeren bir yönetmelik (JORC) yayınlamıştır (Yıldırım, 2011).

İkinci önemli olayda ise, Bre-X isimli Kanada şirketi Endonezya'da Mart 1993'te Busang isimli bir Altın sahası satın almıştır. Bre-X şirketi, Ekim 1995'te önemli miktarda altın rezervi tespit edildiğini kamuoyuna açıklamış ve sahanın zaman içerisinde değeri artmıştır. Busang altın sahasının değeri, 1995 yılında 30 milyon ons (850 ton), 1996'da 60 milyon ons (1.700 ton), sonunda 1997'de ise 70 milyon ons olarak açıklanmıştır. Bre-X'in borsada işlem gören hisse senedi fiyatları 1997'de hızlı bir şekilde 280 ABD dolarına kadar yükselmiş ve hisse senetlerinin en yüksek değere sahip olduğu 1997 yılı başında 6,6 milyar Kanada doları karşılığı olan 4.4 milyar ABD dolarına eşit bir piyasa değerine ulaşmıştır. Busang altın sahasının bu kadar yüksek değer kazanması üzerine Endonezya hükümeti sahaya el koymuş ve kaynak tahmini çalışmalarını yenilemiştir. Elde edilen sonuçlara göre, sahadan ilk alınan cevher örnekleri altın tozu ile tuzlanmıştı. Laboratuvarın testleri sondaj örneklerindeki altının takıların eğelenerek örnekler üzerine serpiştirildiğini göstermiş, ancak bu işlemin hangi aşamada ve nasıl yapıldığı hiçbir zaman kanıtlanamıştır. Bre-X işlemleri

kısa süre içinde Toronto Menkul Kıymetler Borsası ve NASDAQ'da durdurulmuş ve şirket iflas koruması için başvuruda bulunmuştur (Branan, 2007).

Bu olumsuz tecrübelerin ışığı altında, madencilik faaliyetlerinin yoğun olduğu diğer ülkeler de benzer çözüm arayışlarına girmiş ve yasal düzenlemeler yapmışlardır (Yıldırım, 2011). Sözü edilen yasal düzenlemeler aşağıda listelenmiştir;

- Avustralya ve komşu ülkeler: JORC-Code (Joint Ore Reserves Committee),
- Kanada: NI 43-101, National Instrument 43-101 (Standarts of Disclosure for Mineral Projects),
- Amerika Birleşik Devletleri: SME-Guide (The SME Guide for Reporting Exploration Results, Mineral Resources, and Mineral Reserves),
- Avrupa Birliği ülkeleri: PERC (Pan-European Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Reserves),
- Güney Afrika: SAMREC (The South African Code for The Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves).

Değişik ülkelerdeki raporlama düzenlemelerinden yararlanarak, tüm dünyada uygulanabilir ortak standart çalışmalar başlatılmış ve oluşturulan taslaklar üye ülkelerin görüşüne sunulmuştur. Maden kaynakları ve rezervlerin sınıflandırılması ve raporlanması için birbirinden bağımsız olarak iki uluslararası sistem geliştirilmiştir. Bunlar:

- Maden Rezervleri Uluslararası Raporlama Standartları Komitesi üyeleri tarafından geliştirilen standartlar ve yönetmelikler, CRIRSCO (Combined Reserves International Reporting Standarts Committee),
- Birleşmiş Milletler Çerçeve Sınıflaması, UNFC (United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Resources).

Benzer şekilde, ülkemizde de maden arama faaliyetleri süreçlerini kontrol etmek ve olası spekülasyonları önlemek için 7 Eylül 2016 tarihinde UMREK (Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu) kurulmuştur. Ayrıca çatı kuruluş konumundaki CRIRSCO'ya ise 17 Mayıs 2018 tarihi itibarıyla Avrasya bölgesindeki ilk, dünya genelinde ise on üçüncü üyesi olunmuştur. Ülkelerin yıllara göre CRIRSCO'ya üyeliği Şekil 1'de verilmiştir. CRIRSCO'ya üye olan ülkeler, üyelik tarihleri ve ilgili kodlar; JORC (Avustralya, 2012), CBRR (Brezilya), CIM (Kanada), Comision Minera (Şili), CCRR (Kolombiya), PERC (Avrupa, 2017), NACRI (Hindistan), KCMİ (Endonezya), KAZRC (Kazakistan), MPIGM (Moğolistan), OERN (Rusya), SAMCODES (Güney Afrika, 2017), UMREK (Türkiye) ve SME (Amerika Birleşik Devletleri, 2016) olarak güncel halini korumaktadır.

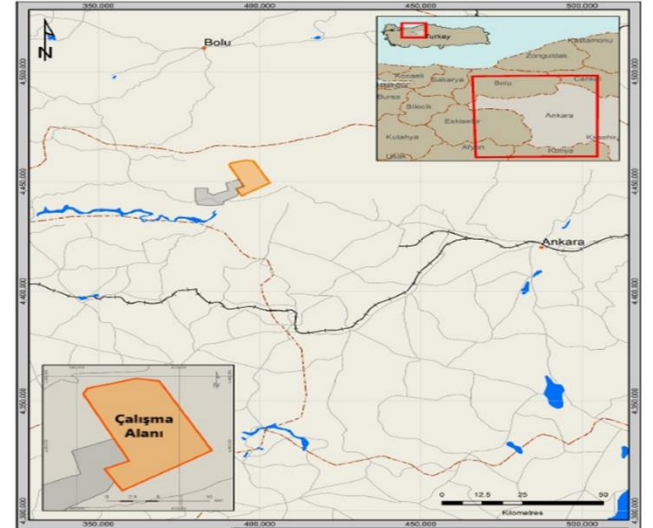


Şekil 1. CRIRSCO Üyeleri ve Kodlar (CRIRSCO, 2023)

### 3.1. Çalışma Alanı

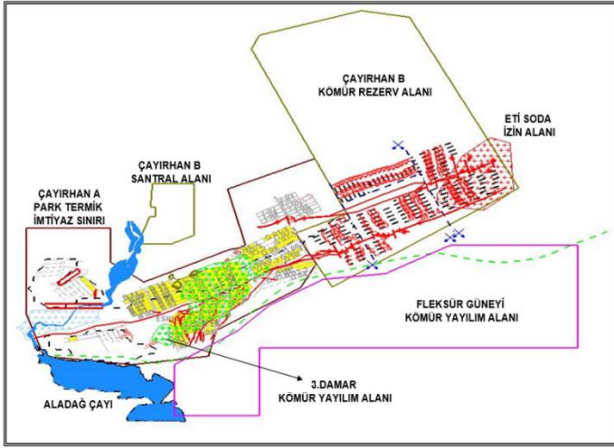
Proje ve yatırım faaliyetleri Ankara İli, Beypazarı İlçesi'nde Çayırhan ile Beypazarı arasındaki Hırkatepe Mahallesi'nde yer almaktadır (Şekil 2). Havzada madencilğe 1970'li yılların sonundan itibaren başlanmıştır.

Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) uhdesinde bulunan 23405 sicil nolu ruhsat sahasının kuzeydoğu bölümünde kalan Çayırhan B linyit sahası operasyon alanı 2017 yılındaki ihale sonrası 11.07.2017 tarihinde 35 yıllık İşletme Hakkı Devir Sözleşmesi ile Kolin-Kalyon-Çelikler firmalarından oluşan şirketler arası işbirliğine geçmiştir. İhale içeriği olarak söz konusu linyit sahasından üretilen kömür ile yeni yapılacak 800 MWe kurulu güce sahip termik santrale yakıt sağlanacak ve enerji üretimi gerçekleştirilecektir.



Şekil 2. Çalışma Alanı (Bamberry, Barker, Willis, ve Shepherd, 2017)

Bölgede 620 MWe (2×150 MWe – 2×160 MWe) kurulu güce sahip Çayırhan Termik Santrali bulunmakta ve çalışması devam etmektedir. İşletme ruhsatı 11,14 ha'lık bir alanı kapsamakta olup linyit damarları ruhsatın güney kesiminde yaklaşık 6.100 ha'lık bir alanda yoğunlaşmıştır. Ruhsat Etisoda işletme alanı ile doğu bölümünde kısmen örtüşmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Havzanın Genel Görüntüsü (Büyükbaş, 2021)

### 3.2. Kaynak Tahmini

Sahada MTA tarafından 1977-1983 yılları arasında yapılmış 98 adet sondaj verisi bu çalışma öncesinde değerlendirilmiş ve bunlar içerisinde 67 adet sondajın sonuçlarının mevcut sahanın projelendirilmesinde kullanılabileceği saptanmıştır. Çalışmada, bu 67 sondajın proje sahası içerisindeki dağılımı da dikkate alınarak rezerv belirleme sondajları her biri 62.500 m<sup>2</sup> alanı temsil edecek sondaj ara uzaklıkları 250 m olacak şekilde kare olarak konuşlandırılmıştır. Bununla birlikte, proje sürecinde yapılan sondajlardan elde edilen veriler ile önceki yıllarda yapılmış sondajlar arasında; kömür kalınlığı, kömüre giriş-çıkış derinlikleri açısından büyük farklılıklar bulunması durumunda bu sondajlar yenilenecektir. Bu planlama çerçevesinde, projede 238.173 metre toplam derinlikte 731 adet rezerv belirleme ve geliştirme sondajı ile toplam derinliği 6.960 metreye ulaşan 32 adet fay belirleme sondajı gerçekleştirilmiştir. Proje sahasında rezerv belirleme amaçlı açılacak kuyularının her birinde; SP Rezistivite, Gamma Ray-Nötron ve Density ve Calipler jeofizik kuyu logları alınmıştır.

İşletme tarafından ise, kömür kaynak miktarının kontrolü ve uluslararası bankalardan kredi kullanımı amaçlı 51 adet yer üstü sondajı yapılmış ve Avustralya menşeli Palaris Firması ile birlikte "Kömür Kaynak Raporu" hazırlanmıştır (Bamberry ve diğ., 2017).

UMREK raporlama terminolojisine göre (UMREK, 2023); Arama Sonuçları, Maden Kaynakları ve Maden Rezervleri ile ilgili Halka Açık Raporlarında sadece Şekil 4'de yer alan tanımlı terimlerin kullanılması gerekmektedir.



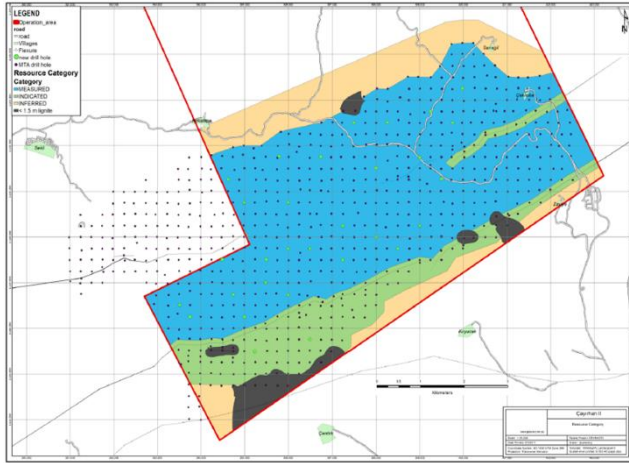
Şekil 4. Arama Sonuçları, Maden Kaynakları ve Maden Rezervleri Arasındaki Genel İlişki (UMREK, 2023)

Kömür kaynak kestiriminin detayları Tablo 1 ile verilmiştir (Bamberry ve diğ., 2017). Detaylı veriler için referanslardan Büyükbaş'dan (2021) faydalanılabilir. Çayırhan B Projesi için kaynak tahmini toplamı 212,8 Mt olup kömür kaynak dağılımı Şekil 5 (Bamberry, Barker, Willis, ve Shepherd, 2017) ile verilmiştir:

- Ortalama net kalorifik değeri 2.548 kcal/kg (ar) olan 144,7 Mt Ölçülmüş (Measured) Kaynak toplamı,
- Ortalama net kalorifik değeri 2.420 kcal/kg (ar) olan 30,1 Mt Belirlenmiş (Indicated) Kaynak toplamı,
- 2013 kcal/kg (ar) ortalama net kalorifik değeri ile 38 Mt Çıkarılmış (Inferred) Kaynak toplamı bulunmuştur.

Tablo 1. Kömür Kaynak Kestirimi

Kategori	Damar	Kalınlık (m)	Net Kalori (kcal/kg)	Miktar (Mt)
Ölçülmüş (Measured)	C1	1,7	2508	42,01
	C11	0,9	1856	18,56
	C12	0,7	2404	13,18
	C2	1,6	2830	67,78
	C21	1,0	1791	1,81
	C22	0,7	1597	1,36
	<i>Toplam</i>			2548
Belirlenmiş (Indicated)	C1	1,4	2466	9,9
	C11	0,7	1942	3,2
	C12	0,6	2323	2,6
	C2	1,3	2524	14,1
	C21	1,0	1450	0,2
	C22	0,8	2557	0,1
	<i>Toplam</i>			2420
Potansiyel (Inferred)	C1	1,2	2042	8
	C11	0,9	1658	6
	C12	0,6	2203	4
	C2	1,3	2324	13
	C21	1,1	1700	4
	C22	0,7	1395	3
	<i>Toplam</i>			2013
<b>TOPLAM</b>			2434	212,8



Şekil 5. Kömür Kaynak Dağılımı

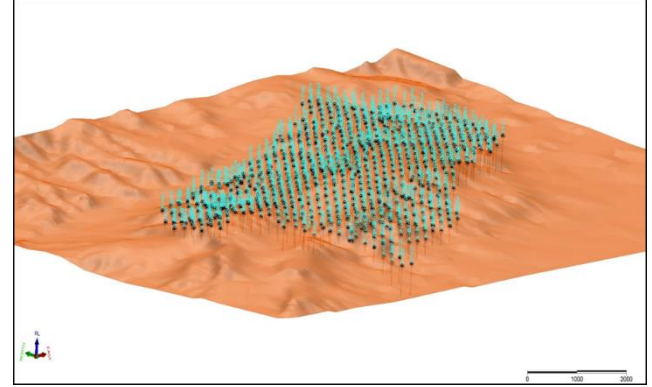
Ölçülmüş (Measured) ile birlikte Belirlenmiş (Indicated) kaynak alanlarında, arakesme ve bölmelerin tonajı ise 47,6 Mt kumtaşı bandı (C1 ve C2 arasındaki arakesme), 16,8 Mt silttaşı (C11 ve C12 damarları arasında), 2,0 Mt silttaşı ve çakıltası (C21 ve C22 arasında) olarak bulunmuştur.

#### 4. Bulgular

Sahanın jeolojik modeli oluşturmak için 3 boyutlu madencilik yazılımı olan Micromine programının "Stratigrafik Model" (Stratigraphing Modelling) metodu kullanılmıştır. Stratigrafik modelleme, stratigrafik çökeltilerin modellenmesi için özel olarak tasarlanmış ve stratigrafik ilişkilerin doğru temsilini sağlar. Sistem, daha sonra blok model yapımı için kullanılacak grid modelleri oluşturur.

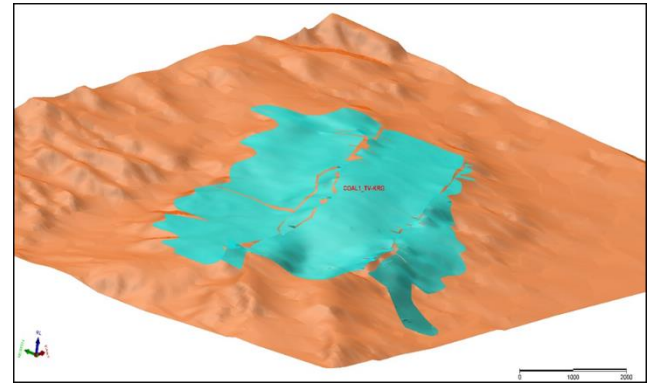
Sedimanter yatak karakterine sahip madenlerde (kömür, trona, bor vb.) daha gerçekçi madencilik tasarımları yapabilmek için üç boyutlu stratigrafik modelleme yaklaşımı önemli bir yere sahiptir. Temel işlem referans bir damarın taban, orta veya tavan yüzeyi oluşturulduktan sonra referans yüzey üstünde ve altında bulunan damar ve arakesme kalınlık modellerinin oluşturulması ve hiyerarşiye göre referans damarın üzerine ve altına doğru istiflenmesidir. Bu çalışmada C1 damarının tavanı referans olarak kabul edilmiş ve diğer damarlar üst ve altında olacak şekilde istiflenmiştir.

Sahada yapılan MTA ve ÇEÜMAŞ tarafından yapılan 856 adet yer üstü sondajlarının kuyu başı kot ve koordinat değerleri ile kuyu derinliği ve eğim ölçümleri, örneklem analizleri ve litolojik kodları içeren dosyalar kontrol edilmiş ve doğrulaması yapılmıştır. Bu süreçte bütün sondaj lokasyonlarına gidilerek gerekli kontroller yapılarak var olan hatalar ve bu yanlışlıklar düzeltilerek güvenilir bir veri tabanı oluşturulmuştur. Sondajların genel görünümü Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Sahadaki Sondajların Genel Görünümü

Damarların adlandırılması ve damar sıralaması (hiyerarşi) sahada daha önceden çalışma gerçekleştiren MTA referans alınarak oluşturulmuştur. Referans damar yüzey modeli bu çalışmada; yapılan yer üstü sondajlarda tavan kömürü (C1) saha genelinde en çok kesilen damar olduğundan tercih edilmiş ve Grid Modelleme ile "Ters Uzaklığın Gücü" (Inverse Distance Power) yöntemi ile oluşturulmuştur (Şekil 7).

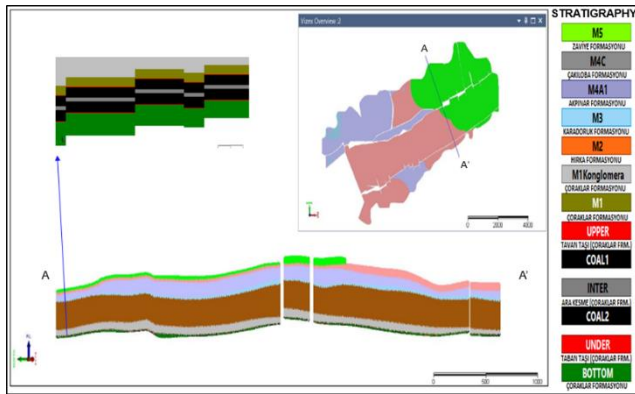


Şekil 7. Referans Damar Yüzeyi

Bazı damarlar her kuyuda olmayabilir. Ancak grid modelde, bir sondajda kesilmeyen damar kalınlığı sıfır olarak kabul edildiğinden bu damar kesilmeyen kuyuya fazla yaklaşır. Oysa iki kuyu arası orta noktada damar sonlanmalıdır. Bu işlemin otomatik olarak yapılması için Micromine tarafından geliştirilen "Scripting" modülü kullanılarak sondajlarda kesilen damar ve arakesme sanal kalınlıkları hesaplanmıştır. Bu kalınlıklar kullanılarak tüm damar ve arakesmelerin kalınlık grid modelleri yine program tarafından geliştirilen macro modülü ile otomatik bir şekilde oluşturulmuştur.

Yüzeyleyen kömür damarlarında blok model oluşturulduktan sonra topoğrafya veya benzeri bir yüzey ile damar blok modelin kestirilmiş ve topoğrafya üzerinde kalan kısımlar silinmiştir. Bu şekilde sondajlarda kesilen tüm stratigrafinin 3 boyutlu blok modellemesi oluşturulmuştur. Yine kömür ve yan kayaların jeokimyasal ve jeomekanik özellikleri Ters Mesafe Ağırlıklandırma Yöntemi (Inverse Distance

Weighting-IDW) ile blokların içine değer ataması işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Blok Modelin Kesit Görünümü

Stratigrafik modelleme modülü kullanılarak kömür yatağı sağlıklı bir şekilde üç boyutlu sayısal bir modele aktarılmıştır. Dolayısıyla, daha sağlıklı bir maden tasarımının önü açılmış, rezerv tahmin hesabı ve diğer fizibilite çalışmaları açısından önemli bir avantaj sağlanmıştır. Bu yöntemde önce 3 boyutlu blok model oluşturulmuş olup sonrasında bu blok modelden katı modele ve yüzeylere geçiş yapılmaktadır.

#### 4.1. Rezerv tahmini

Madenin, yeraltından üretilen damarların çeşitli hususlarının çalışma durumuna ilişkin değerlendirmesi Tablo 2'de olduğu gibi yapılmıştır. Strata Control Technologies (SCT) aracılığıyla birincil destek gereksinimlerine, eğimle ilişkili uzunayak koşullarına ve derinlikte formasyonların stabilitesi olacak şekilde detaylı bir jeoteknik çalışma sorumlu yazar tarafından yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, maden planı tasarımına ve finansal modele dâhil edilmiştir.

Tablo 2. Çalışma Seviyeleri

Dönüştürücü Faktörler	Ön Fizibilite Çalışması	Fizibilite Çalışması
Madencilik	X	
Zenginleştirme-Metalurji	X	
Ekonomiklik	X	
Pazar Durumu		X
Yasal		X
Çevresel		X
Sosyal		X
İdari		X

Proje, Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) tarafından madencilik çalışmaları yapmak için gerekli lisansları almış bulunmakta ve bu lisansla ilgili çevre yönergeleri kapsamında onay alınmıştır. Bu ruhsatta (S:23405), madenin finansal olarak uygun bir şekilde çalışmasını engelleyen hiçbir koşul bulunmamaktadır.

Yeraltı suyu ve madene su akışı üzerindeki etkiyle ilgili daha önceden MTA tarafından bir çalışma yapılmış olup yine ÇEÜMAŞ tarafından American Engineering Company (AECOM) firması ile detaylı hidrojeolojik etüt çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucu sahada bazı ek su gözlem kuyuları açılmış olup önemli bir su sorunu ile karşılaşılma ihtimali olmadığı konusunda görüş birliğine varılmıştır.

Maden planı ÇEÜMAŞ ekibi tarafından aşağıdaki ölçütler kullanılarak tasarlanmıştır;

- Jeolojik yapı-tektonizma ile uyum,
- Damar eğimi (jeomekanik ve su durumu),
- Kömüre erişim mesafesi,
- Çalışma izin alanına uygun geometri,
- Çalışma yüksekliği,
- Enerji verimliliği, optimum paçallama.

Maden planı tasarım parametreleri için yapılan çalışmalarda elde edilen parametrelere göre bazı kabuller sorumlu yazar tarafından yapılarak tasarım aşamasına geçilmiştir. Buna göre: Yer üstü ulaşım için 1 adet Temiz hava galerisi ile 1 adet Nefeslik tasarlanmıştır; Taban yolları olarak her pano için 2 taban yolu tasarlanmıştır; Uzunayak boyları (m) olarak sahanın farklı yerlerinde 110 - 250 m arasında değişken ayak uzunlukları tasarlanmıştır; Taban yolları arası topuk mesafesi (Rib pillar) Senklinal kıvrımlarında 40 m olarak tasarlanmıştır; Panoların anayollara olan topuk mesafesi (Barrier pillar) 40 m olarak tasarlanmıştır; Panoların anayollarla paralel olduğu durumlarda topuk mesafesi ise 100 m olarak tasarlanmıştır.

Maden planı tasarımının önemli girdisi, yapılması gerekli üretim miktarıdır. Madenin, 800 Mwe yapılması planlanan termik santralin ihtiyaçlarını karşılayabilmesi için yıllık yaklaşık 6,5 Mt üretim yapması gerekmektedir. Santral kapasitesine göre toplam kömür ihtiyacı için yapılan hesaplamalar Tablo 3'de verilmiştir.

Tasarımı yapılan sahanın bitişik alanlarında çalışmakta olan Çayırhan A sahalarının tecrübelerine göre, belirli koşullar altında tek bir çalışan uzunayağın yıllık 1,5 ile 3,0 Mt arasında üretim yapılabileceği varsayımı genel bir kabul olarak alınmıştır. Tasarımın temel amacı, ayak çalışma başına ortalama yıllık 2,0 - 2,5 Mt üretim yapılmasıdır. Kömür ihtiyacına göre üretim ayağı için yapılan hesaplamalar Tablo 4'de sunulmuştur.



Tablo 3. Santral Kapasitesine Göre Toplam Kömür İhtiyacı Hesaplamaları

Santral ile İlgili Kabul ve Hesaplar	
Brüt Kurulu Güç(MW)	800
Net Verim (1 kWh=860 kcal)	1.811
Yıllık Çalışma Saati	8.015
Yıllık Bürüt Elek. Üretimi (MWh)	6.412.000
Yıllık Net Elek. Üretimi (MWh)	6.091.400
Santral Verimi (%)	48
İç Tüketim (%)	5
Kömür Kalorisi (Santral Parametre)	1860
Gerekli Kömür Miktarı (kg/kWh)	0,97
Santral Temiz Kömür Miktarı (Ton/yıl)	6.241.449
Gerekli Tüvenan Miktarı (Ton/yıl)	6.381.461
Brüt Üretim Hakediş (\$/yıl)	387.284.800
(6,04 cent \$/kWh)	
Parametre	
Santral Çalışma Saati (saat/yıl)	8.015
Santral Verimi (%)	47,5
İç Tüketim (%)	5
Tüvenan Kalori (Kcal/kg)	1.819
Santral Kalori Parametresi (Kcal/kg)	1.860

Tablo 4. Kömür ihtiyacına göre üretim ayağı hesabı

Parametreler	Yıllık fiili çalışma süresi	
	305 gün/yıl	205 gün/yıl
Günlük ilerleme (m)	6	6
1 m ilerlemeden elde edilen kömür tonajı	1.449	1.449
Günlük üretim (ton)	8.694	8.694
Yıllık üretim (ton)	2.651.782	1.782.345
2 Pano yıllık üretim (ton)	2.651.782	3.564.691

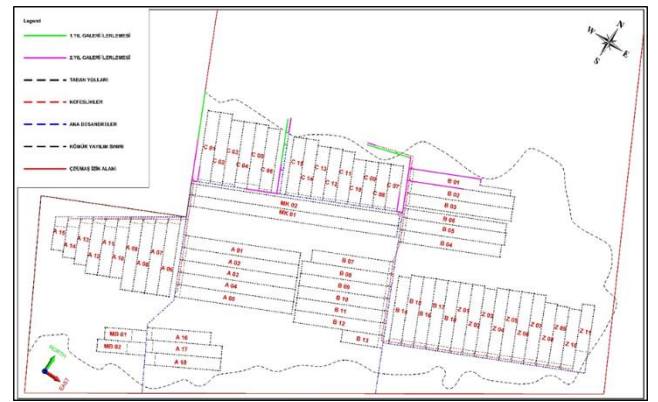
Yapılan hesaplamalara ve kabullere göre; Toplam hazırlıktan gelen yıllık tonaj 621.647 olarak bulunmuştur. Tek bir üretim panosunda haftada 7 gün, 2 üretim panosunda haftada 5 gün çalışma yapıldığı kabulü ile ve yılda 1 defa pano taşınmasında söküm ve yeniden kurulum işleri için 45 günlük taşıma süresi kabulü ile Toplam Yıllık Üretim 6.838.120 ton olarak hesaplanmıştır.

Bu süreç için sonraki ilk adım, aşağıdaki etmenlerin etkisine sahip olan ayrı ayak boylarının uzunluğunu ve genişliğini tektonizmanın da durumuna göre maksimize etmektir:

- Pano başına gerekli galerilerin miktarını azaltmak. Ramble uygulaması yapılarak taban yolları arasında topuk bırakılmadan bir sonraki panoda taban yolu olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda yangın riski de önlenmiş olmaktadır.
- Ayakların sökülmesi-yeni panoya kurulması için gereken zamanları azaltarak dolayısıyla arıza süresi azaltılmıştır.

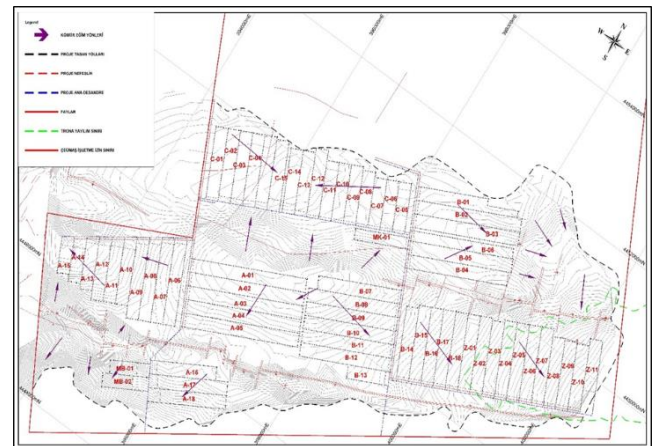
- Ton başına işletme maliyetini düşürmek için, yıllık üretilen tüvenan kömür miktarı arttırılmıştır.

Bir sonraki adım, finansal olarak uygun uzunayak oluşumuna izin vermek için jeolojik koşulları gözden geçirmektir. Eğim ve görünen madencilik eğimi, jeoteknik koşullar ve su girişi potansiyeli dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Damarın eğimine göre taban yolları eğim yukarı pano çalışma eğimleri ise meyil aşağı olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Çayırhan A sahasındaki deneyimlere göre, yüksek verimliliğin ancak ayak eğiminin 25°'den az ve pano ilerleme eğiminin ise 5°'den az olduğu koşullarda elde edilebileceği bilindiğinden tasarım buna göre yapılmıştır ve aşağıda Şekil 9 ile sahanın Maden Planı tasarlanmıştır.



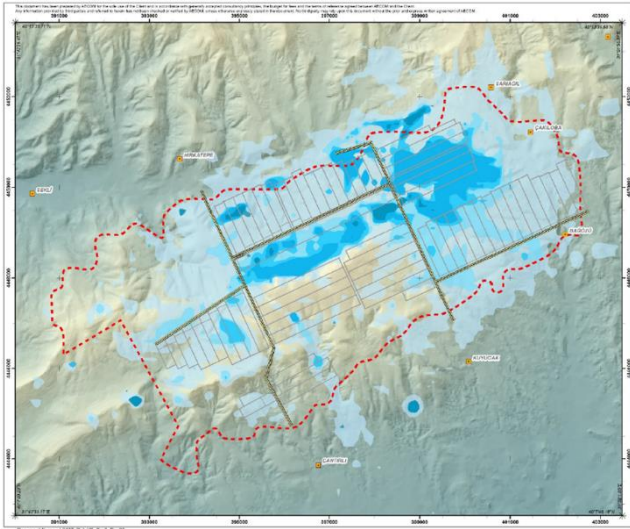
Şekil 9. Çayırhan B Linyit Sahası Maden Planı

Çayırhan B Linyit sahasında, AECOM firması tarafından yapılan hidrojeolojik çalışmaya göre büyük miktarda su girişi potansiyeli bulunmasa da sahada su olabileceğine dair bazı kanıtlar bulunmaktadır. Çayırhan A sahasındaki deneyimler, su akışının kuzey-doğudan yani bu sahadan olduğunu ve fay zonlarını keserken büyük su akışlarının bulunduğunu göstermektedir. Sahadaki deneyimlere göre tasarımı yapılan sahada su akış yönleri Şekil 10 ile aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 10. Su Akış Yönleri

Açılması planlanan taban yollarının yukarı yönde eğimiyle birlikte, panoların aşağıya doğru çalışması da önemlidir. Tasarımda ayrıca, ana yolların en düşük kotlarına ana su havuzları planlanmış ve ocakta tüm sular buralarda toplanıp çöktürme işlemi yapılarak tekrar geri dönüşümle birlikte yine yeraltında kullanılması hedeflenmiştir. Olası su akışını yönetme yeteneği, ana yolların yerinin belirlerken de önemli bir husustur. Madenin birden fazla ana yolla çalışması sırasında havalandırmayı sürdürmesine ve önemli miktarda içeri akışı yönetmesine de ayrıca olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, AECOM (2018) tarafından yapılan çalışmada su olabilecek potansiyel bölgeler aşağıda verilen Şekil 11 ile gösterilmiştir.

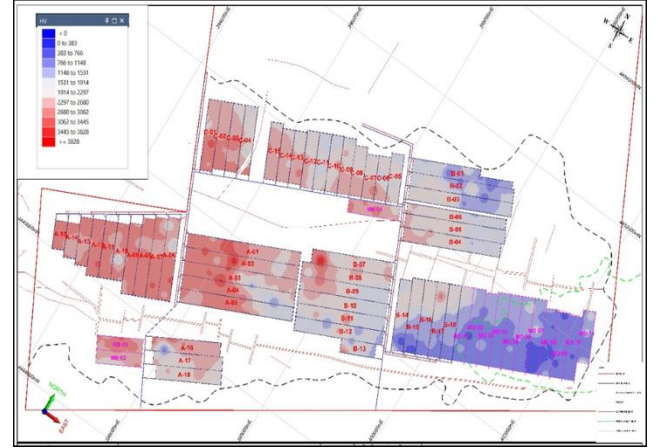


Şekil 11. Su Olabilecek Potansiyel Bölgeler

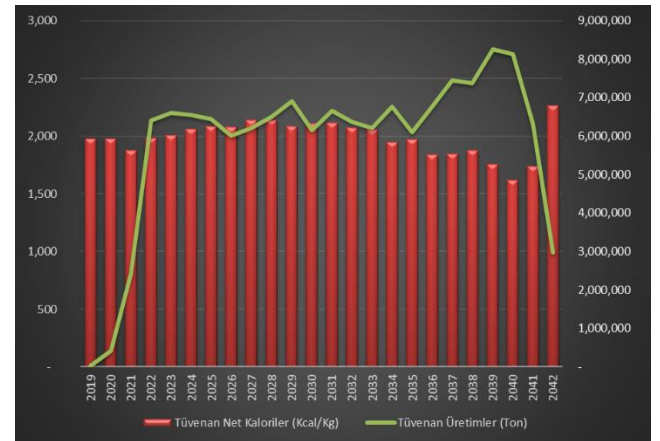
Yeraltı galerileri, galeri açma makineleri ile mekanize olarak kazılarak TH çelik tahkimat, ana yollarda ve alt taban yollarında kaya saplaması kullanılarak tahkim edilerek açılması planlanmıştır. Çayırhan A tecrübelerine dayanarak rezerv kaybını en aza indirmek amacıyla bir pano için sürülen alt taban yolunun şerit dolgu yöntemi kullanılarak uçucu kül ile çimento şerbeti karışımı ile tutulması ve diğer panoda üst taban yolu olarak tekrar kullanılması tasarlanmıştır. Bu yöntem ile taban yolları arasında topuk bırakılmamakta ve rezerv kaybına da sebebiyet verilmemiş olmaktadır Aynı zamanda yangın riski de önemli ölçüde azaltılmış olmaktadır.

Maden tasarımını etkileyen önemli faktörlerden biri, madenin enerji çıktısını dengeleme kabiliyetidir. Yani santrale beslenecek kömür kalori değerine göre sahayı en uygun şekilde seçimli çalışmak gerekmektedir. Yüksek kalorili bölümler ile düşük kalorili bloklar eş zamanlı çalışarak en uygun bir besleme yapılmalıdır. Sahanın daha sığ olan batı bölgesinin, madenin daha derin doğu bölümünden daha yüksek bir enerji işleme bölümüne sahip olduğu yapılan çalışmalarda gözlenmiş ve Şekil 12 ile sahanın net kalori dağılım haritası gösterilmiştir.

Yukarıda belirtilen nedenlerle, rezerv çıkarımını en üst düzeye ulaştırmak ve enerji çıkışını pürüzsüz hale getirmek için tasarım, doğu ve batı olarak bloklara ayrılmış olup bu bölümlerin tüvenan kömür nakliyeleri ayrı ayrı olarak birbirine karışmayacak şekilde tasarlanmıştır. Yıllara göre tüvenan kömür üretim değerlerine ait net kaloriler Şekil 13'de gösterilmiştir.



Şekil 12. Net Kalori Dağılım Haritası



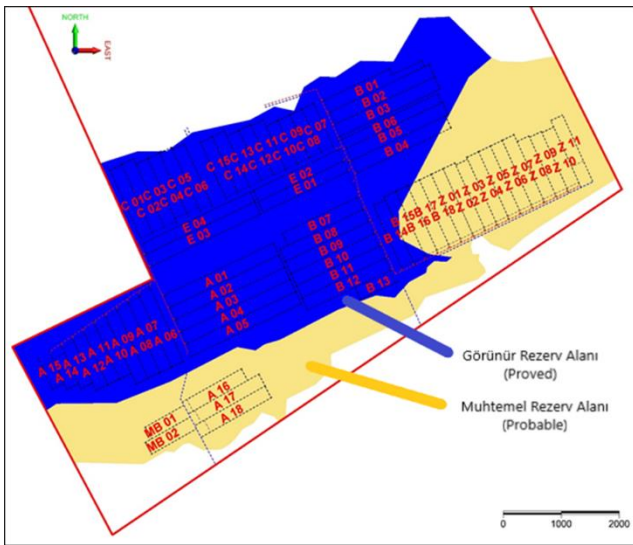
Şekil 13. Yıllara Göre Tüvenan Üretim Net Kalorileri

Kömür rezervinin güvenilirliği ve doğrulanması amacı ile de çalışmalar yapılmıştır. Bu bağlamda, Çayırhan B linyit sahası için gerek kömür rezervleri ve gerekse pazarlanabilir kömür rezervleri tahminlerine yüksek düzeyde güven olduğuna inanılmaktadır. Bunun nedenleri:

- Çayırhan A'da yakın bir madencilik geçmişinin olması,
- Yorumlama için kapsamlı veri sayısının (~900 sondaj) bulunması,
- Kömür kaynağının çoğunluğu ölçülmüş (measured) veya belirlenmiş (indicated) statüde sınıflandırılmış olup sahada daha önceden yapılan çalışmaların birbirleriyle büyük farklılık göstermemiş olması,

- Bölgede enerji arz güvenliğine odaklanmanın artması,
- Projenin düşük işletme maliyetinin olması,
- Pazar – arz dengesi maden çıkışlı bir elektrik santrali bulunması olarak sıralanabilmektedir.

Rezervler, maden planlarının ömründen olacak şekilde sırasıyla ölçülmüş (measured) ve belirlenmiş (indicated) kaynak poligonları ile kesişerek görünür (proved) ve muhtemel (probable) kategoriler olarak sınıflandırılmış ve Şekil 14 ile sunulmuştur. Rezervler daha sonra herhangi bir değişirici faktörün uygulanmasından sonra yeniden sınıflandırmaya yol açıp açmayacağını belirlemek için değerlendirilmiştir.

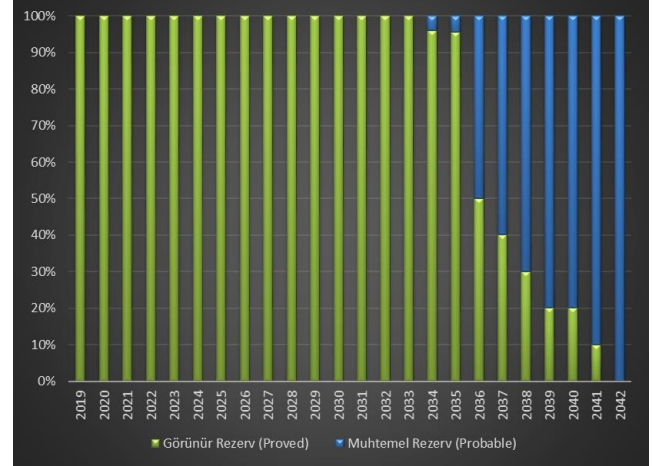


Şekil 14. Sahadaki Rezervlerin Sınıflandırılması

Genel olarak maden kaynağının rezervine dönüşümü aşağıdaki hususlara uygun olarak yapılmıştır:

- Ölçülmüş kaynak (measured) içindeki madencilik alanları, görünür rezervlere (proved) dönüştürülmüştür,
- Belirlenmiş kaynak (indicated) içindeki madencilik alanları, muhtemel rezervlere (probable) dönüştürülmüştür,
- Potansiyel-çıkarılmamış kaynak (inferred) içindeki madencilik alanları rezervlere dönüştürülmemiştir.

Maden planının yeraltı ömrü dahilinde planlanan kömürün %75'i görünür rezerv olarak, %25'i muhtemel rezerv olarak sınıflandırılmıştır. Rezervler için bu kategorilerin yıllık bazda dağılımı ise aşağıda Şekil 15'te gösterilmiştir.



Şekil 15. Maden Ömrü Boyunca Rezerv Sınıflaması

Proje riskleri açısından bir değerlendirme yapıldığında, rezerv tahmininin oluşturulmasında kaynakların rezervlere başarılı bir şekilde dönüştürülmesinde risk oluşturabilecek faktörlerin potansiyel etkileri aşağıda değerlendirilmiştir.

Projenin genel olarak kuzey ve güney doğusundaki linyit kaynağın uç noktalarında kömür kalitesinde bir düşüş potansiyeli mevcut olup santral için daha düşük bir enerji çıktısına sebep olmaktadır. Dolayısıyla selektif bir çalışma önerilmektedir.

Linyit damarlarının düşük kaliteli kaloriye sahip oluşu ve yaklaşık 40 günlük inkübasyon süresi (kuluçka süresi) olması sebebiyle yanmaya karşı oldukça hassastır. Bu nedenle, stok sahalarındaki linyitin geometrisi önem arz etmektedir. Ayrıca, ayağın göçük kısmında büyük miktarda kömür bırakılması bir risk olarak kabul edilmektedir.

Proje alanının güney doğusundaki trona çözelti madeninin lisans alanıyla çakıştığı bölgede kapsamlı uygulanabilir bilimsel çalışma yapılmalıdır. Çünkü çözüldürmek için yeraltına verilen suyun tamamının geriye dönmediği bilinmekte ve daha önce söz konusu madenin yeraltı madencilik ile çalışılması, salamuralar ile karşılaştığı tecrübe edilmiştir. Ayakların trona kavernaları ile kesişmesi nedeniyle ani su, metan ve salamura ile karşılaşılma riski kuvvetle muhtemeldir. Bu nedenle, bu bölgedeki rezervler muhtemel (probable) sınıfa alınmıştır. Trona lisans alanı ile çakışan bölümden linyit kaynaklarını kaldırmak için bir gereklilik olsaydı, yaklaşık 27 Mt'luk bir etkiye sahip olurdu. Beklenen çakışan alanının altındaki alan yalnızca kaldırılırsa, bu yaklaşık 20,5 Mt'luk bir rezerv kaybına sebep olacaktır.

Hırka Formasyonu (M2) üzerini örten kireçtaşları (Karadoruk Formasyonu-M3) içinde bulunan akiferlerin etkisi AECOM firması ile yapılan hidrojeolojik çalışma ile tam olarak anlaşılabilir olsa da yine de Çayırhan A tecrübelerine göre risk teşkil etmektedir. Söz konusu

akiferden su girişinin madenin verimliliğini etkileme riski mutlaka vardır. Buna göre mevcut maden tasarımı bu riski dikkate alarak hazırlık galerileri eğim yukarı üretim panoları ise eğim aşağı olacak şekilde teşkil edilmiş ve işletme esnasında yine suyun drenajı ve gözlemlenmesi için finansal modelleme kapsamına alınmıştır.

Çayırhan B Projesi için toplam yeraltı tüvenan kömür rezervi 121,2 Mt'dur. Bu miktar içerisinde Görünür Rezerv (Proved) 99,7 Mt ve Muhtemel Rezerv (Probable) ise 21,5 Mt olarak sınıflandırılmıştır. Tüvenan kömür rezerv miktarları C damarı çalışma bölümüne dayanmakta ve madencilikten kaynaklı seyreltme miktarlarını da içermektedir. Yeraltı tüvenan kömür kalite kestirim özeti aşağıda Tablo 5 ile detaylı olarak sunulmuştur. Tablo 5 ve Tablo 6 ile verilen Net Kalorifik Değer (NKD), Kül, Toplam Nem (TN) ve Toplam Kükürt (TK) Orijinal Bazdaki değerlerdir.

Tablo 5. Yeraltı Tüvenan Kömür Kalite Kestirim Özeti

C Damarı	NKD (kcal/kg)	Kül (%)	TN (%)	TK (%)	Toplam Miktar (Mt)
Görünür (Proved)	2.029	45,2	20,97	1,94	99,7
Muhtemel (Probable)	1.450	51,6	17,97	2,06	21,5
Toplam (Ortalama)	1.926	46,3	20,4	1,96	121,2

Satılabilir kömür rezervleri ise, maden tüvenan kömür sahasında boyutlandırma ve eleme yoluyla kömür rezervlerine pratik verim geri kazanımı uygulanarak tahmin edilmiştir. Çayırhan B linyit sahasında yapılması planlanan üretim faaliyetleri için toplam yeraltı satılabilir kömür rezervi, Tablo 6 ile gösterilen kategori tahsisi ile C damarı çalışma bölümü için santralin istediği 1.971 kcal/kg orijinal bazdaki kalori değerini sağlayacak miktar 115 Mt'dur. Bu miktarın 98 Mt'luk bölümü Görünür Rezerv (Proved), kalan 17 Mt'luk bölümü ise Muhtemel Rezerv (Probable) olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 6. Yeraltı Satılabilir Kömür Kalite Kestirim Özeti

C Damarı	NKD (kcal/kg)	Kül (%)	TN (%)	TK (%)	Toplam Miktar (Mt)
Görünür (Proved)	2.035	44,8	21,03	1,98	98
Muhtemel (Probable)	1.605	50,8	18,05	2,1	17
Toplam (Ortalama)	1.971	45,7	20,6	1,99	115

## 5. Tartışma

Bu çalışma sonucunda, Çayırhan B sahasındaki yer üstünden (topoğrafyadan) kömürün tabanına kadar sondajlarda kesilen tüm formasyonlar ve linyit damarları üretime göre yeniden veri tabanı oluşturularak Micromine yazılımında modellenmiştir. Modelleme sonrasında kaynak sınıflandırmasındaki alanlara sadık kalarak maden planı tasarımı yapılmıştır.

Kurulması planlanan termik santralin gücüne (800 MWe) ve diğer parametrelerine göre kömür ihtiyacı hesaplanmış (6,5 Mt/yıl - 1971 kcal/kg) ve enerji arz güvenliği için üç ayrı panoda üretim yapılması gerektiği değerlendirilmiştir. Hem kömür ihtiyacı hem de kaloriye göre en uygun besleme yapmak adına, sahanın yüksek kalorili bölgeleri ile düşük kalorili yerleri paçallanacak şekilde seçimli (selektif) bir termin planı oluşturulmuştur. Oluşturulan termin planına göre, santralin yaklaşık 17-18 yıl kadar kömür ihtiyacının söz konusu sahadan karşılanması mümkün gözükmektedir. Sonrasında ekonomik model oluşturulmuş olup yatırım döneminde (3 yıl) yaklaşık 315 M\$ gerektiği ortaya konulmuştur (Büyükbaz, 2021). Madenin ömrü boyunca da 13,44 \$/ton birim maliyet oluşmuştur. Toplam proje tutarının %20'si kadar öz sermaye ve sonrasındaki tüm ihtiyacın kredi ile karşılanması kurgusu ile model desteklenmiştir. Projenin başabaş noktası yine oluşturulan ekonomik modele göre 10. yıl olarak tespit edilmiştir. Bu değere göre projenin karlılığı oldukça yüksek olarak görünmektedir.

## 6. Sonuçlar

Yapılan çalışmaların ışığında projenin ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır. Maden sahası ile ilgili olarak trona sahası ile çakışan bölgede risk bulunmaktadır. Söz konusu bölümün bilimsel kuruluşlarla tekrar değerlendirilmesi gerekmektedir. Çözelti madenciliği doğası gereği oluşturulan boşluklarda su-salamura biriktiği varsayımı yüksek olduğundan ve tronanın üretilmesi planlanan kömüre göre daha üst kotta yer alması sebebiyle teknik olarak kömürden önce üretilmesi gerektiği ve ekonomik olarak da birinden biri tercih edilecekse de trona olması gerektiği aslında konuya açıklık getirmektedir. Bu bölümdeki linyitlerin kalitesinin de düşük olması gibi parametreler de göz önünde bulundurularak söz konusu çakışan bölgedeki sorunun kısa zamanda çözülmesi önem arz etmektedir. Dolayısıyla bu alandaki linyitlerin üretilmemesi durumu da varsayılarak rezerv miktarı düşecektir. Zaten yaklaşık 30 yıl ömür biçilen termik santrale kömür besleme süresi 15 yılın da altına düşecektir.

Sonuç olarak da, 800 MWe olarak yapılması planlanan termik santralin yerine daha az yatırıma ihtiyaç duyulacak bir kurulu güce revizesi gündeme gelecektir. Ayrıca, söz konusu yapılması planlanan termik santral öncesinde havzadaki diğer termik santraller de (Çayırhan A 620 MWe + Adularya 290 MWe toplam 910

MWe) göz önünde bulundurularak havza bazında yeniden değerlendirilip yeni bir master plan yapılarak proje kurgusunun gözden geçirilmesinde fayda görülmektedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışmanın yayınlama imkânını sunan Sayın Mehmet ERTÜRK'e; çalışma sırasında bilgi birikimlerini aktaran Sayın Fatih Bülent TAŞKIN'a, Sayın Oktay ERARSLAN'a, Sayın Serhat ÖZKAN'a, Sayın Gani EŞİYOK'a, Sayın Güray ÇAKMAKÇI'ya teşekkür ederiz.

### **Araştırmacıların Katkısı**

Bu araştırmada; Ferhat BÜYÜKBAŞ, bilimsel yayın araştırması, verilerin toplanması, bilgisayar destekli yazılımlara uygulanması, rapor haline dökülmesi; Mahmut YAVUZ ise çalışmaların kontrol edilmesinde ve makalenin oluşturulması ve yayına hazırlanması konularında katkı sağlamışlardır.

### **Çıkar Çatışması**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### **Kaynaklar**

AECOM. (2018). Hydrogeological Characterization and Numerical Modelling for Çayırhan-II Coal Field, Research Report, American Engineering Company (unpublished).

Aktan, M. (2015). Resource Estimation of the Sağırlar and Çivili (Bursa-Orhaneli) Coal Fields, Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, 90 s.

Bamberry, J., Barker, M., Willis, B. ve Shepherd, H. (2017). Çayırhan II Jorc Resoruce Statement, Research Report, Palaris (unpublished).

Branan, N. (2007). Bre-X scandal ends with acquittal, *Geotimes*, 52, 12-13.

Büyükbaş, F. (2021). Çayırhan B Linyit Sahasının Rezerv Kestirimi (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

CIM. (2019). Estimation of Mineral Resources & Mineral Reserves Best Practice Guidelines, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, p.74.

CRIRSCO. Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards, erişim: 21 Aralık 2023, <https://crirSCO.com>.

Clifford, D. ve Poole, L. (2019). Updated Coal Reserves at Isaac Plains and Annual Coal Resoruces & Reserve Summary, Research Report, Stanmore Coal Limited, p. 17.

JORC. (2012). The JORC Code – 2012 Edition, Australasian Institute of Mining & Metallurgy, p. 44.

Küçükkarasu, O. (2019). Alpagut-Dodurga Linyitleri Kaynak Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, 62 s.

Magnus, E. (2017). Alternative Methods for Coal Resource Classification of the Geologically Complex Witbank Coal Field, Master of Science Thesis, University of the Witwatersrand, p. 73.

Özdemir, M. (2015). Bir Kömür Sahasının Bilgisayar Destekli Tasarım Programları ile Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, 59 s.

Özkan, Y. (2017). Güvenilir Maden Kaynak ve Rezerv Tahminlerine Yönelik Bir Asırlık Arayış: Türkiye Tecrübesi, *Madencilik Türkiye Dergisi*, 62, 60-72.

Özkan, Y. ve Akbaba M. (2013). Örneklemeyen Rapor Etmeye Adım Adım Maden Kaynak Tahmini, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 37, 141-158.

Rahman, A., Quamruzzaman, C., Ahmed, T., Islam, K., Hossain, I. ve Khan, S. (2017). Coal Reserve Estimation and Selection of Mining Method in Khalashpir Coal Field, Rangpur, Bangladesh, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 7, 41-48.

Tercan, E., Ünver, B., Hindistan, M.A., Ertunç, G., Atalay, F., Ünal, S. ve Kılıoğlu, Y. (2012). Seam Modelling and Resource Estimation in the Coalfields of Western Anatolia, *International Journal of Coal Geology*, 112, 94-106.

UMREK (2023). Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Kodu, Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu, 103 s.

UMREK. (2023). Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu, erişim: 21 Aralık 2020, <https://umrek.com.tr>.

Westman, E. (1999). A Characterization and Determination of the Coal Reserves and Resources of Southwest Virginia, PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, p. 99.

Yıldırım, S. (2011). Maden Aramacılığında Uluslararası Standartlar ve Ülkemiz Maden Mevzuatına Yansımaları, 64. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 25-29 Nisan, Ankara, Türkiye.

## HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN DÜŞÜK ÇALIŞMA GERİLİMİNDE İÇ ROTORLU FIRÇASIZ DOĞRU AKIM MOTORU TASARIMI

Gökhan ERDOĞAN<sup>1</sup>, Yener TAŞKIN<sup>2</sup>, Hasan TİRYAKİ<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34320, İstanbul,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-4285-9919>

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34320, İstanbul

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-1923-2672>

<sup>3</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 34320, İstanbul

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-9175-0269>

Anahtar Kelimeler	Öz
İç rotor BLDC motor Düşük Çalışma Gerilimi Verim BLDC Motor Boyutlandırma Sonlu Elemanlar Yöntemi	<i>Bu çalışmada, hibrit araçlar için paralel yapıda kullanılabilmeğe yönelik yüksek güç, yüksek verim ve yüksek moment özelliklerini sağlayan yüksek çalışma gerilimindeki (300 V) iç rotorlu fırçasız doğru akım motor tasarımı yerine daha düşük bir gerilimde (96 V) yeniden tasarlanması amaçlanmıştır. Bu tasarım çalışmaları ve sonlu eleman analizleri ANSYS Electronics Desktop paket programıyla yapılmıştır. Deney aracı olarak seçilen bir hafif ticari araç verileri kullanılarak uygulama esnasında ihtiyaç duyulacak olan parametreler (moment, güç, devir) hesaplanmış ve motor tasarımları bu parametreler göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan elektrik motorları, yüksek devirlerde yüksek güç ve moment ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla genellikle 400 V gibi yüksek çalışma gerilimlerinde üretilmektedir. Yüksek gerilimlerdeki elektrik motor ve sürücülerinde çekilen güce bağlı olarak hat üzerinden geçen akım değerinin düşük olması fayda sağlarken, motor sürücünün geliştirilmesinde kullanılan komponentlerin maliyetlerinin ve elektrik çarpması riskinin artmasına neden olmaktadır. Bu çalışma ile üretilecek olan fırçasız doğru akım motorunun sürücü kısmındaki komponent maliyetlerinin azaltılması ve araç içerisindeki DC bara geriliminin tehlikeli alt sınırın altında olması amaçlanarak tasarımı yapılan yüksek gerilimdeki motorun çalışma gerilimlerinin düşürülmesi sağlanmıştır.</i>

## INNER ROTOR BRUSHLESS DIRECT CURRENT MOTOR DESIGN AT LOW OPERATING VOLTAGE FOR HYBRID ELECTRIC VEHICLES

Keywords	Abstract
Inner Rotor BLDC Motor Low Operating Voltage Efficiency BLDC Motor Sizing Finite Element Method	<i>In this study, it is aimed to repattern at a lower voltage (96 V) instead of a brushless direct current motor design with internal rotor at high operating voltage (300 V), which provides high power, high efficiency and high torque features for hybrid vehicles to be used in parallel structure. These design studies and finite element analysis have been done with ANSYS Electronics Desktop software. Using the data of a light commercial vehicle selected as the test vehicle, the parameters (torque, power, speed) that will be needed during the application were calculated and motor designs were made taking these parameters into consideration. Electric motors used in electric and hybrid vehicles are generally produced at high operating voltages such as 400 V in order to meet the high power and torque requirement at high speeds. While it is beneficial that the current value passing through the line is low depending on the power drawn in the electric motors and drivers at high voltages, it causes the cost of the components used in the development of the motor driver and the risk of electric shock to increase. With this study, it was ensured that the component costs in the driver part of the brushless direct current motor to be produced were reduced and the operating voltages of the designed high voltage motor were reduced with the aim of keeping the DC bus voltage inside the vehicle below the dangerous lower limit.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 20.07.2022

Submission Date : 20.07.2022

Kabul Tarihi : 06.02.2024

Accepted Date : 06.02.2024

\* Sorumlu yazar: [hasan.tiryaki@istanbul.edu.tr](mailto:hasan.tiryaki@istanbul.edu.tr)

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1146133>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Giriş

Günümüzde fosil yakıtların hızla tükenmesi, otomotiv sanayii ve yan sanayideki üreticileri çevresel salınımları ve fosil yakıtla bağımlılıkları daha az olan araçların ve ekipmanlarının geliştirilip üretilmesine sevk etmiştir. Bu durum içerisinde, her geçen gün yeni elektrikli araçlar, hibrit elektrikli araçlar ve bu tarz araçlara yönelik bileşenler üretilmektedir (Ustun, Yılmaz, Gökçe, Karakaya ve Tuncay, 2009.).

İçten yanmalı motor kullanılan araçlardaki en büyük enerji kaybı yakıtın yakılmasıyla elde edilen enerjinin hareket enerjisine çevrilmesi anında olmaktadır. İçten yanmalı motorlarda mekanik kayıpların ve sürtünme kayıplarının fazla olmasından dolayı elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları çok daha cazip hale gelmektedir. Hareketin elektrik enerjisiyle sağlandığı elektrik motorlarında verim oranları %90 ve üzerlerine çıkabilmektedir. Elektrikli ve hibrit elektrikli araçlardaki kaybın en önemli bileşeni elektrik motorudur. Bu nedenle motor tasarımı büyük önem arz etmektedir (Zarko, Ban ve Lipo, 2009).

Elektrikli ve hibrit elektrikli araçlarda, asenkron, senkron, fırçalı DC, fırçasız DC gibi birçok elektrik motoru kullanılmaktadır. Fırçasız doğru akım motorları; yüksek verim, yüksek moment, küçük hacim ve düşük ağırlıklarından dolayı elektrikli araç uygulamaları dışında havacılık, elektronik, bilgisayar teknolojileri gibi çeşitli sektörlerde yüksek yoğunluklarda kullanılmaktadır (Zhao, Ham, Zheng, Wu, Sundaram, Kapat ve Chow, 2007).

Fırçasız doğru akım motoru, adından da anlaşılacağı üzere komütasyon için ya da bir diğer adıyla dönüşün sağlanması için fırça, slipring veya mekanik komütatör kullanmayan motorlardır. Bu tarz motorlarda, DC akımın taşındığı sarımların etrafında bulunan sabit manyetik alanlı mıknatıslar sabit bir açıda bulunmaktadır. Fırçasız doğru akım motorunun dönüşe başlaması ve devam edebilmesi için mıknatısları karşılayan DC akımın geçtiği iletkenlerin polaritelerinin sürekli değiştirilmesi gerekmektedir. Bu polarite değişikliğinin sağlanması işlemine komütasyon denilmektedir (Husain, 2003).

Komütasyon için elektrik motoru içerisinde fırça, slipring gibi ekstra komponentlerin kullanılmaması genel olarak fırçasız motorların verimliliğini arttırmaktadır. Fırçasız motorlar doğru akım ve alternatif akım motoru olmak üzere iki çeşittir. Fırçasız doğru akım motoru ve fırçasız alternatif akım motoru fiziksel olarak aynı yapıdadır; her ikisi de dönen sabit mıknatıslara ve 3 fazlı stator sargılarına sahiptir. Aralarındaki temel fark ise, alternatif akım makine senkron bir hızda döner ve sargı fazları sinüzoidal olarak stator üzerine dağıtılmış, doğru akım makinede ise sargı fazları 60 derecelik bir dağıtılmış yapıdadır.

Fırçasız doğru akım motoru “self-senkron” veya “oto-senkron” olarak da adlandırılmaktadır. Bu tarz motorlarda komütasyon rotorun pozisyonuyla alakalı olduğu için senkronizasyon sürekli kontrol altında tutulmaktadır. Sürüş frekansı ne kadar düşük olursa, motorun dönüş hızı da o kadar düşük olacaktır (Hendershot ve Miller, 2010).

Motorun kullanılacağı uygulamaya bağlı olarak fırçasız doğru akım motorlarının tasarımında en önemli parametrelerden biri en uygun çalışma geriliminin belirlenmesidir. Çalışma gerilimi, motorun kullanım amacının yanı sıra oluk-kutup kombinasyonunun belirlenmesi, motor sürücüsünün performansı, verimlilik, güç, moment ve üretim maliyeti gibi birçok unsuru doğrudan etkilemektedir. Elektrikli ve hibrit otomobillerde, temel olarak elektrik motoru, enerji depolama sistemi ve motor sürücü kullanılmaktadır (Sanguesa, Torres-sanz, Garrido, Martinez ve Marquez-barja, 2021). Motorun çalışma geriliminin artırılması (120V ve üzeri), elektrik çarpması riskinin artmasının yanında, motor sürücü içerisinde kullanılan anahtarlar ekipmanlarının maliyetlerinin artmasına, iletkenler arasındaki açıklık ve sızıntı mesafelerinin daha büyük olmasına ve son olarak sürücünün IPXX sızdırmazlık koruma sınıfının yüksek olmasına sebep olmaktadır.

Shrivastava ve Brahmin, elektrikli araç uygulamalarında kullanılmaya yönelik dış rotorlu üç fazlı iki farklı oluk/kutup kombinasyonundaki fırçasız doğru akım motor tasarımı yapmış, tasarım sonuçlarını bu çalışmalarında irdelemiştir. Yapmış oldukları motor tasarımı 300 V yüksek gerilimde çalışan ve birim hacimden alınabilen moment miktarı düşük olan bir motor özelliğindedir (Shrivastava ve Brahmin, 2014). Bu çalışmaya paralel olarak Rahim N.A. ve diğerleri, 150 kg'dan daha düşük olan elektrikli araçlar için aksiyel yapıda 300 V yüksek gerilimde çalışan, hacimsel olarak daha küçük olan bir fırçasız doğru akım motoru tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirmiştir (Rahim, Ping ve Tadjuddin, 2007).

Öte yandan nispeten daha düşük çalışma gerimine sahip motorlara yönelik çalışmalar da bulunmaktadır. Örneğin, Nair S.S. ve diğerleri, aksiyel yapıdaki 48V gerilimde çalışan, 4000 rpm' de olan fakat düşük moment ve düşük güçte bir fırçasız doğru akım motoru tasarımı yapmış, farklı oluk ve mıknatıs şekilleriyle elektromotor kuvvetinin dalga biçimlerinin ve tutma moment değerinin azaltılmasını sağlamıştır (Nair, Nalakath ve Dhinagar, 2011). Ayrıca Uygun ve Solmaz tarafından yapılan çalışmada yapılan faaliyetlere benzer şekilde, dış rotorlu bir fırçasız doğru akım motoru tasarımı ve sonlu eleman analizlerini tipik yöntemlerle gerçekleştirmiştir. Yapmış oldukları çalışmada, 60V gerilimde çalışan, 1100 rpm' de olan fakat binek araçlar için yeterli güç ve moment değerlerini sağlayamayan bir motor tasarımı elde etmiştir. Elde edilen motor

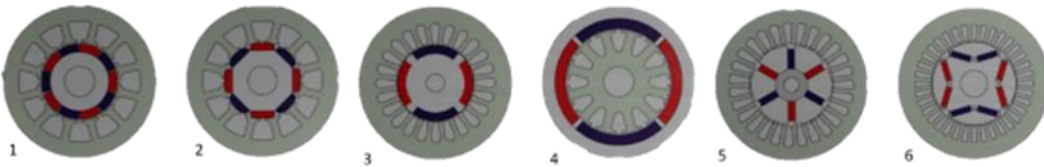
tasarımının, sonlu eleman analizlerinde moment grafikleri, akı çizgileri, hız ve verimlilik parametreleri incelenmiş ve motorun paralel yapıda çalışabilecek hibrit araçlarda kullanımını önermiştir (Uygun, ve Solmaz, 2015).Güneş enerjisiyle çalışan araçlar ve bu araçlar ile dünya çapında düzenlenen yarışmalar elektrikli ve hibrit araçların gelişmesine, farkındalığın artırılmasına büyük katkı sağlamaktadırlar. Güneş arabaları için yapılan çalışmaların başında, elektrik motorları, batarya paketleri, güneş hücreleri gelmektedir (Thacher, 2015). Güneş arabalarının harcadığı elektrik enerjisinin en önemli kısmı elektrik motorları tarafından harcadığı düşünüldüğünde, daha verimli elektrik motorlarının üretilmesi konusu büyük bir önem arz etmektedir. Güneş enerjili araçlar için tasarlanan motorlar, binek araçlar için tasarlanana göre daha düşük gerilimlerde (48V) çalışmalarına rağmen düşük güç ve moment (2kW, 5 Nm) üretebilmektedirler (Singh, Marwaha ve Singh, 2017). Güneş arabalarında ve çeşitli paralel hibrit uygulamalarda tekerlek içi sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motorları kullanılmaktadır. Çabuk, Sağlam ve Üstün tarafından yapılan farklı sargı yapılarının etkilerinin incelendiği çalışmada anlatılan tasarımını gerçekleştirmiş oldukları fırçasız doğru akım motoru 150V çalışma geriliminde yaklaşık 30Nm moment üretebilmektedir (Çabuk, Sağlam ve Üstün, 2019). Tekerlek içi doğru akım motor uygulamasının bir örneğini de Akar, Eker ve Akın ülkemizde düzenlenen yarışmalar için ürettikleri prototip elektrikli araç için geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri fırçasız doğru akım motoru, tehlikeli alt sınır gerilimi altında çalışmasına rağmen ürettiği moment ve güç, herhangi bir hibrit araç uygulamasında kullanılmak için yeterli olmamaktadır (Akar, Eker ve Akın, 2021).

Mukherjee ve Sengupta, ANSYS RMXprt modülünü kullanarak elektrikli araç uygulamalarında kullanılmak üzere iç rotorlu, neodmiyum mıknatısların kullanıldığı bir fırçasız doğru akım motor tasarımı ve prototip

imalatı gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada, 1500 rpm devir hızına sahip, 400V dc gibi yüksek bir gerilimde çalışan bir motor gerçekleştirilmiştir (Mukherjee ve Sengupta, 2014).

Kerem, hafif elektrikli prototip otomobil için dış rotorlu, 96V çalışma geriliminde 2kW güç ve 20Nm moment üretebilen bir fırçasız doğru akım motoru tasarımı gerçekleştirmiş ve prototip testlerini yapmıştır. Geliştirmiş olduğu motor, hafif elektrikli otomobiller (L7 sınıfı) için uygun olabilmesine rağmen bu çalışmadaki gibi bir otomobil için gerekli olan moment ve güç değerlerini sağlayamamaktadır (Kerem, 2021).

Fırçasız doğru akım motorlarında aksiyel, radyal olmak üzere iki farklı tasarım tipi bulunmaktadır. Aksiyel tasarımlarda, hava aralığında harcanan enerji daha düşük olabilmekte, daha yüksek verimli motorlar elde edilebilmektedir (Saxena, 2014). Aksiyel tasarımların bu avantajından dolayı fırçasız doğru akım motor tasarımlarında günümüzde bu topolojiden de yararlanılmaktadır. Nugraha, Yuniarto, Herizal, Asfani, Riawan ve Wahyudi, elektrikli bisiklet uygulamalarında kullanılmak üzere, diğer benzer çalışmalara göre daha düşük gerilimde (100V) çalışan, aksiyel topolojide bir motor tasarımı yapmıştır. Yapılan tasarımın gücü ve devir hızı çok düşük olmamasına rağmen (5 kW - 5000 rpm) günümüz elektrikli ve hibrit araç uygulamalarında kullanılmaya uygun değildir (Nugraha, Yuniarto, Herizal, Asfani, Riawan ve Wahyudi, 2018). Aksiyel motor tasarımlarında, radyal tasarımlara göre daha düşük hacimlerde aynı güç ve moment değerlerine ulaşabilmektedir. Fakat bu değerlere erişilebilmesi için aksiyel motorların çift hava aralığına sahip olması gerekmektedir. Bu durumda hem motorun üretim maliyeti artmakta hem de bakır kayıpları artmaktadır. Ayrıca aksiyel motorların imalat toleransları, radyal motorlara göre kıyaslandığında çok daha düşük olduğu için üretim maliyetlerini arttırdığından dolayı bu çalışmada radyal bir motor tasarımı tercih edilmiştir (Sitapati ve Krishnan, 2001).



Şekil 1. Fırçasız Makine Tipleri (Hendershot ve Miller, 2010)

Fırçasız doğru akım motorları, genel olarak Şekil 1'de temsili görselleri verildiği üzere altı farklı tipte üretilmektedir. Bahsi geçen tiplerden dört numaralı görselde verilmiş olan dış rotorlu, diğer beş farklı tip ise iç rotorlu yapıdadır. Rotor gövdesi üzerine sabit mıknatısların monte edildiği fırçasız doğru akım motorları yüksek verimlilik sağladıklarından dolayı

hafif elektrikli ve hibrit otomobil uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedir (Hendershot ve Miller, 2010). Bu çalışma kapsamında tasarlanmış olan motorlar Şekil 1' de verilmiş iki numaralı görseldeki rotor yüzeyine monte edilmiş sabit mıknatıslardan oluşan iç rotorlu yapıdadır.

Bu çalışmada yukarıda özetlenen literatürdeki



çalışmalara destek vermek amacıyla hafif ticari sınıfta paralel hibrit yapıda olan araç için tasarlanmış olan yüksek çalışma gerilimindeki (300 V) fırçasız doğru akım motoru, tehlikeli alt sınır altında kalan gerilimde (96 V) çalışabilecek şekilde farklı kutup-oluk kombinasyonunda yeniden tasarlanmıştır. Çalışma bu yönüyle motor ve motor sürücü tasarımları için güvenilirlik ve ekonomiklik kriterlerinin sağlanması açısından araştırmacılara ışık tutmaktadır. Motorun çalışma geriliminin düşürülmesi, hat ve faz akımlarının artmasına sebep olmaktadır. Çalışmanın devamı niteliğinde olan motor sürücü tasarımında tercih edilen anahtarlar ekipmanı (Infineon IRFP 4310ZPBF) faz başına 6 paralel şeklinde kullanılmaktadır. Mosfetin teknik verileri incelendiğinde maksimum çalışma akımı değerinin, çalışma için ihtiyaç duyulan değer üstünde olduğu açıkça görülmektedir (Infineon IRFP 4310ZPBF, 2022).

Çalışmanın Materyal ve Metot kısmında; tasarlanan fırçasız doğru akım motorunun kullanılacağı hibrit araca ait katalog verileri ve bu veriler kullanılarak yapılan moment, güç ve hız hesaplamaları "Araç Parametreleri ve Hesaplamalar" isimli alt başlığında detaylı bir şekilde verilmiştir.

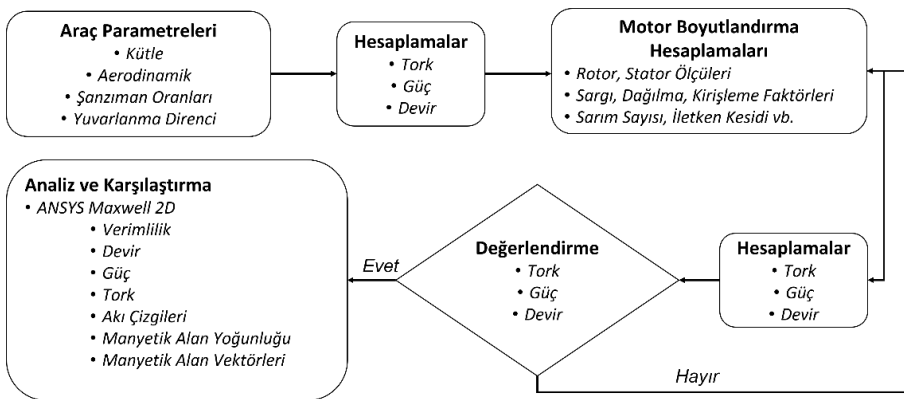
Motor tasarımı yapılırken baz alınan temel adımlar ve tasarım adımları "Motor Tasarım Çalışmaları" isimli alt başlığında ve yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen motor performans özellikleri kullanılarak gerçekleştirilen motor boyutlandırma aşaması "Motor Boyutlandırmasının Yapılması" isimli alt başlığında paylaşılmıştır. Motor boyutlarının belirlenmesinin ardından, ANSYS Electronics Desktop yazılımının RMXprt modülü kullanılarak fırçasız doğru akım motorunun ilk aşamalarda hesaplanan performans özellikleri olan moment, güç ve hız performans özelliklerinin değerlendirilmesi "Sonuçlar ve Tartışma" başlığının altında yapılmıştır.

Analitik hesaplamalar ile yapılan değerlendirme sonucunda ihtiyaç duyulan performans özelliklerinin sağlanması durumunda iki farklı motor tasarımının sonlu eleman analizleri ve karşılaştırılması "Sonuçlar ve Tartışma" başlığının altında verilmiştir.

Motor tasarımlarının, analitik hesaplamalarının ve 2B sonlu eleman analizlerinin sonuçları, Bulgular kısmında aktarılmış ve son olarak elde edilen performans değerleri Tartışma ve Sonuç kısmında yorumlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bir hibrit elektrikli araçta kullanılmak üzere gerçekleştirilen fırçasız doğru akım motoru tasarımı genel olarak araç parametrelerinin belirlenmesi, ihtiyaç duyulan performans özelliklerinin belirlenmesi, hesaplanan özellikler için motor boyutlandırmasının yapılması, motor tasarımının yapılması, analitik hesaplamalar ve sonlu eleman analizleri olmak üzere beş adımdan oluşmaktadır. Bu aşamalardan ilki, hesaplamalar için gereken araç parametrelerinin belirlenmesidir. Bu amaçla, çalışma kapsamında kullanılacak olan hafif ticari aracın katalog bilgilerinden faydalanılmıştır. Hafif ticari aracın katalog bilgileri kullanılarak, bir sonraki aşamada aracın seyri için ihtiyaç duyulan moment, güç ve hız performans özellikleri hesaplanmıştır. Hesaplanan motor performans özelliklerini sağlayabilmek için fırçasız doğru akım motoru boyutlandırma hesapları bir sonraki aşamada hesaplanmıştır. Motor boyutlarının belirlenmesinden sonraki aşamada ANSYS Electronics Desktop yazılımının RMXprt modülü kullanılarak motor tasarımı yapılmış ve son aşamada tasarımların analitik hesaplamaları ve sonlu eleman analizleri yine aynı yazılımın Maxwell modülü kullanılarak yapılmıştır. Bahsi geçen bütün aşamalara ait yapılan çalışmalara ilişkin bir akış şeması Şekil 2'de paylaşılmıştır.



Şekil 2. Motor Tasarım Çalışmaları Akış Şeması

Motor tasarım çalışmaları kapsamında yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen tork, güç ve devir parametrelerinin değerlendirilmesi sonucunda

ihtiyacın karşılanmadığı tasarımlarda boyutlandırma hesaplarında varsayımsal olarak kullanılan değerler; hava aralığındaki manyetik alan yoğunluğu, armatür

akım yoğunluğu, stator sacları üzerindeki manyetik alan yoğunlukları ve mıknatıs kaliteleri değiştirilerek analitik hesaplamalar yenilenmiştir.

## 2.1. Araç parametreleri ve hesaplamalar

Çalışma kapsamında tasarlanan fırçasız doğru akım motoru ve paralelde yürütülen diğer çalışmalar sonucunda elde edilecek olan diğer bileşenler (elektronik kontrol birimi, motor sürücüsü, batarya yönetim sistemi vb.) hafif ticari bir aracın dış gövdesi ve şase kısmı kullanılarak şehir içi testlere tabii tutulacaktır. Tasarım çalışmalarının ve şehir içi testlerin yapılacağı aracın parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Araç Parametreleri

Parametre	Sembol	Değer
Araç Kütlesi (kg)	$m$	1840
Ulaşılabilecek Hız (km/h)	$V$	70
Tekerlek Açılma Hızı (rad/s)	$w_{tekerlek}$	109,32
Hızlanma Süresi (s)	$t$	13,1
Rüzgâr Sürüklenme Katsayısı	$C_d$	0,37
Yuvarlanma Direnci Katsayısı	$C_{rr}$	0,02
Projeksiyon Alanı (m <sup>2</sup> )	$A$	1,8
Tekerlek Yarıçapı (inç)	$r$	7
Şanzıman Oranı	$R$	1,258
Hava Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$	1,225

Bu bilgiler ışığında gerekli hesaplamalar aşağıda yapılmıştır (Vargo, 2013).

Aracın hareketi için yenmesi gereken kuvvet ( $F_T$ ); tekerlek ile yol arasındaki sürtünmeden kaynaklanan yuvarlanma direnci kuvveti ( $F_{rr}$ ), aracın gövdesi üzerindeki hava akışından kaynaklanan sürüklenme kuvveti ( $F_d$ ) ve aracın ivmelenmesi için gerekli olan ivmelenme kuvveti ( $F_a$ )'nin toplamından oluşmaktadır (Reif ve Dietsche, 2014). Gerekli olan kuvvetin hesaplanmasında yol eğimi ihmal edilmektedir. Bunun nedeni ise, aracın ihtiyaç duyulan hıza (70 km/h) ulaştığında eğimsiz bir yolda seyir halinde olacağı öngörülmekte, motorun ivmelenme anında sağlaması gereken tork değerinin araç eğimli bir yolda seyir halindeyken de yeterli olacağı öngörülmektedir.

$$F_T = F_{rr} + F_d + F_a \quad (1)$$

Yuvarlanma direnci kuvveti, yolun araç tekerleği üzerinde oluşturduğu deformasyondan kaynaklanmaktadır. Eşitlik 2'de yer alan  $C_{rr}$  değeri yuvarlanma direnci katsayısını ifade etmektedir.

$$F_{rr} = mgC_{rr} \quad (2)$$

Aerodinamik sürüklenme kuvveti ( $F_d$ ), aracın gövdesi üzerindeki viskoz sürtünmeden kaynaklanmakta olup

aracın gövdesinin projeksiyon alanına ( $A$ ), sürüklenme katsayısına ( $C_d$ ), akan havanın yoğunluğuna ( $\rho$ ) ve aracın rüzgara göre bağlı hızına ( $V$ ) bağlıdır.

$$F_d = 0,5C_dA\rho V^2 \quad (3)$$

İvmelenme kuvveti ( $F_a$ ), aracın statik kütlesi ( $m$ ) ve istenilen hıza ulaşmak için gerekli olan ivmeye ( $a$ ) bağlıdır.

$$F_a = ma \quad (4)$$

Hesaplanan bütün kuvvetlerin toplamı Eşitlik 1'de gösterildiği gibi aracın hareketi için gerekli olan toplam kuvveti vermektedir. Hesaplanan kuvvetler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Hesaplanan Kuvvetler

Kuvvet	Sembol	Değer
Yuvarlanma Direnci Kuvveti (N)	$F_{rr}$	361,00
Aerodinamik Sürüklenme Kuvveti (N)	$F_d$	154,16
İvmelenme Kuvveti (N)	$F_a$	2730,50
Toplam Kuvvet (N)	$F_T$	3245,66

Toplam kuvvet aracın tahrik tekerleğinin merkez noktasında olması gereken yani motorun sağlaması gereken moment değerini bulmak için kullanılacaktır. Araçta kullanılan tekerlekler 14 inç çapındadır. Hesaplanan toplam kuvvet ile tekerlek yarıçapının çarpım sonucu ihtiyaç duyulan moment değerini vermektedir.

$$T_a = F_T r \quad (5)$$

$$T_c = (F_{rr} + F_d)r \quad (6)$$

$$P = T_c w \quad (7)$$

İhtiyaç duyulan moment değerinin ( $T$ ), tekerleklerin açılma hızı ile çarpılması sonucunda ihtiyaç duyulan mekanik güç ( $P$ ) hesaplanmıştır. Bahsi geçen güç herhangi bir sürtünme kuvvetinin ve herhangi bir aktarma organındaki kaybın dahil olmadığı güç olup tasarlanması gereken motorun bu güç değerinden daha yüksek bir güç değerini sağlayabilmesi gerekmektedir.

Fırçasız doğru akım motorunun, araç 70 km/saat seyir hızında iken; Eşitlik 7 kullanılarak 12,6 kW güce ve Eşitlik 6 kullanılarak 91,59 Nm momente sahip olması gerektiği hesaplanmıştır. Proje sonucundaki geliştirilen ürünlerin şehir içi testleri için kullanılacak olan araca 3. vites oranı 1,258 olan otomatik şanzıman entegre edilecektir. İçten yanmalı motor ile elektrik motoru geliştirilecek olan hibrit araçta şanzımanın öncesinde

konumlandırılacak ve her iki motorda manyetik kavramalar kullanılarak tahrik sistemine bağlanması veya ayrılması sağlanacaktır. Eşitlik 8'de motor açısız hızı ( $w_{motor}$ ), tekerlek açısız hızı ( $w_{tekerlek}$ ) ve şanzıman oranının ( $R$ ) çarpılması ile hesaplanmıştır.

$$w_{motor} = w_{tekerlek} R \quad (8)$$

Yapılan hesaplamalar ve varsayımlar sonucunda tasarlanması gereken fırçasız doğru akım motorunun sahip olması gereken değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Nominal Motor Parametreleri

Parametre	Sembol	Değer
Motor Devri (rpm)	$w_{motor}$	1315
İvmelenme Moment (Nm)	$T_a$	577,07
Sabit Hız Moment (Nm)	$T_c$	91,59
Mekanik Güç (kW)	$P$	12,6

## 2.2. Motor tasarım çalışmaları

Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda, bütün motor tiplerinde (fırçasız, fırçalı, senkron, asenkron, doğru akım ve alternatif akım vb.) yapılacak olan tasarım işlemlerinde temel olarak aşağıda sıralanmış olan maddeler baz alınmaktadır (Hendershot ve Miller, 2010).

- Makine tipine ve kontrol metoduna karar vermek,
- Faz sayısı, kutup ve oluk sayısına karar vermek,
- Temel ölçüler ve malzemelere karar vermek,
- Rotor tasarımı yapmak,
- Stator gövdesini saclar veya nüveler kullanılarak tasarlamak,
- Stator sargılarını tasarlamak.

Yukarıda sayılan maddelerden de anlaşılacağı üzere, literatürde geçen bu adımlar çok temel olarak belirlenmiştir. Bu maddelerin hepsinde ve ayrı ayrı teorik hesaplamalar, analizler ve çeşitli iterasyonlar yapılması gerekmektedir.

Fırçasız doğru ve alternatif akım motorlarının dönen mıknatıslara ve sabit sargılara sahip olan birden çok farklı konfigürasyonu bulunmaktadır.

Bu farklılıkların temel nedeni, farklı uygulamaların gelişmesi ve fırçasız makineler üzerine son 30 yıldır yapılan çalışmalardır. Yapılan farklı çalışmalar sonucunda çeşitli geliştirmeler fark edilmiş ve farklı tipte fırçasız makineler ortaya çıkmıştır. Literatüre göre şu ana kadar geliştirilmiş olan ve kullanılan fırçasız makine tipleri Şekil 1'de verilmiş ve özellikleri aşağıda anlatılmıştır.

Fırçasız makineler çalışmanın giriş kısmında anlatıldığı üzere, birden çok farklı tipte geliştirilmekte ve üretilmektedir. Çalışma kapsamında geliştirilecek olan hibrit elektrikli aracın ihtiyacını karşılayabilmek için gerekli olan; güç (yaklaşık 15 kW), moment (yaklaşık

100 Nm) ve devir (yaklaşık 1300 RPM) değerlerine ihtiyaç vardır. Bu değerleri karşılayabilmek amacıyla Şekil 1'de görülen ikinci tip yani, somun ekmek geometrili yüzey-mıknatıs motor topolojisine karar verilmiştir. Aynı zamanda yüzey-mıknatıs tipinde bir makine olduğundan dolayı sabit mıknatısların oluşturacağı elektromotor kuvveti sinyallerinin şekillerinden dolayı kare dalga işaretli sinyallerle sürülmesi gerekmektedir.

Fırçasız doğru akım motorlarında seçilecek olan faz sayısı 2, 3, 4, 5, 6, 9 gibi sayılarda olabilmektedir. Dört ve yukarısında olan faz sayıları yüksek güçlü motorlar için tercih edilmektedirler. Geliştirilecek olan sürücünün daha kolay bir altyapıya sahip olabilmesi ve testler için kullanılacak hazır ürün bulmanın daha kolay olacağından dolayı 3 fazlı bir tasarıma karar verilmiştir.

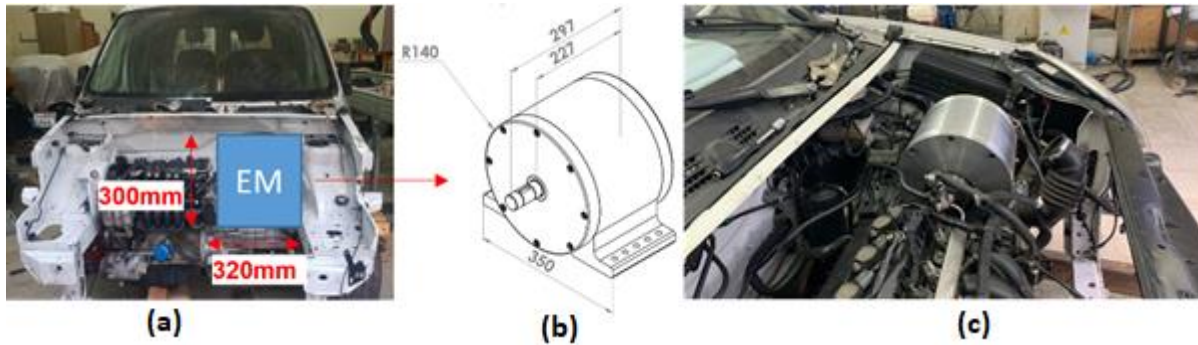
Elektrik makinelerinde tercih edilecek olan kutup-oluk sayısı ve bu ikisinin birbirine oranı; motor statoru üzerindeki iletken dağılım yoğunluğu ve tutma momentini direkt olarak ilgilendirdiğinden oluk ve kutup sayısını birlikte değerlendirmek gerekmektedir. Motorda tercih edilecek olan kutup sayısı; kullanılacak sabit mıknatısların malzeme ve kalitesine, iç veya dış rotorlu olmasına, devir sayısına ve motorun montaj şekline bağlıdır. Kendinden kalkışlı olan makinelerde oluk sayısı / kutup sayısı ( $S / 2p$ ) oranı 1' e eşit olmamalıdır, bunun nedeni ise faz farkı oluşturup dönüşün sağlanabilmesidir.

Temel ölçüler için, motor tasarımının yapıldığı uygulamadaki motor için ayrılabilir olan hacim baz alınmaktadır. Bu belirlenen hacim içerisinde bir tasarım yapılmaya çalışılmaktadır. Malzemeler için ise, sabit mıknatıslarda genellikle nadir elementlerin kullanıldığı neodmiyum alaşım mıknatıslar farklı kalitelere (N35M, N50M vb.) kullanılmaktadır. Neodmiyum mıknatıslar, piyasada bulunabilen diğer seramik mıknatıslara göre çok daha yüksek çekim gücüne ve bu çalışma için yeterli olan çalışma sıcaklığına sahiptirler. Neodmiyum

mıknatıslardaki kalite ifadesi, mıknatısın çekim gücünü ve çalışma sıcaklığını ifade etmektedir. Neodmiyum mıknatısların kalitelerindeki N ifadesi Neodmiyumu ifade etmekte, sonrasında gelen iki haneli sayı ise mıknatısın üretebileceği maksimum enerji çarpımı (BH) ifade etmektedir. Elektrik motorlarının stator ve rotor gövdeleri için ise yüksek verimliliğin sağlanabilmesi amacıyla genellikle yönlendirilmemiş silisli saçlar kullanılmaktadır.

### 2.3. Motor boyutlandırmasının yapılması

Çalışma kapsamında tasarlanmış olan fırçasız doğru akım motorunun sahip olması gereken özellikler (moment, devir ve güç) belirlendikten sonra, uygulama alanındaki hacim için gerekli olan motor boyutlarının hesaplanması gerekmektedir (Hendershot ve Miller, 2010). Çalışma kapsamında geliştirilen motorun konumlandırılacağı alanın boyutları (a) ve tasarlanmış olan motorun son durumdaki ölçüleri (b) Şekil 3'te verilmiştir. Ayrıca üretilmiş olan motorun entegre edilmiş hali ise Şekil 3.c'de verilmiştir.



Şekil 3. (a) : Elektrik Motoru Maksimum Paketleme Ölçüleri, (b) : Üretilmiş Olan Motorun Ölçüleri, (c) : Elektrik Motorunun Montajı Sonrasındaki Kaput Altı Yerleşimi

Araç kaputunun içerisinde elektrik motorunun paketlenmesi için sabitleme sehpası ve ekstra motor kulakları entegre edilmiştir. Bu parçaların entegrasyonu göz önüne alınarak maksimum boyutlar belirlenmiştir. Ölçülen maksimum boyutlar içerisinde kalarak motor boyutlandırması yapıp, motorun elektromanyetik tasarımı için gerekli olan paket boyu, stator ve rotor çapları gibi değerler hesaplanmış olacaktır. İlk olarak motorun birim hacmindeki moment değerinin ( $TRV$ ) hesaplanması gerekmektedir.

$$TRV = \frac{T}{\frac{\pi D^2 L}{4}} \quad (9)$$

Motor tasarım çalışmalarında, birim hacimden alınabilecek moment değeri ( $TRV$ ) seçilerek

kullanılmakta ve bu değer, ihtiyaç duyulan moment değerlerine bağlı olarak birim hacim moment değeri hesaplanmaktadır.

$$\lambda = \frac{L}{\tau_p} \quad (10)$$

$$\tau_p = \frac{\pi D}{2p} \quad (11)$$

$$\tau_p = \frac{L}{\lambda} \quad (12)$$

Yukarıda verilmiş olan eşitlikler sonucunda, motorun paket boyu, stator dış çapı, oluk ve kutup sayısı belirlenmiştir. Bu değerlerin ardından stator sargı hesaplarının yapılması gerekmektedir. Sargı hesaplamaları sonucunda oluk alanı, sargı faktörü ve sarım sayısı parametreleri belirlenecektir.

$$k_w = k_d k_p \quad (13)$$

$$k_p = \cos\left(\frac{2\pi - \frac{2\pi}{N_s}}{2}\right) \quad (14)$$

Stator sargı faktörü ( $k_w$ ), dağılıma faktörü ( $k_d$ ) ve kirisleme faktörü ( $k_p$ ) olmak üzere iki farklı değerin çarpılmasıyla elde edilmektedir. Üç fazlı motorlarda dağılıma faktörü ( $k_d$ ) balansın sağlanması amacıyla 1 olarak seçilmekte, kirisleme faktörü ( $k_p$ ) ise Eşitlik 14' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$f = \frac{pn}{60} \quad (15)$$

Motorun devir hızı ( $n$ ) ve kutup sayısı ( $p$ ) kullanılarak motorun boştaki dönüş frekansı Hz cinsinden Eşitlik 15 ile hesaplanmaktadır.

$$v_{rms} = \frac{V - V_{trs}}{\sqrt{3}\sqrt{2}} \quad (16)$$

$$\emptyset = \frac{2}{\pi} B_g \tau_p L \quad (17)$$

$$w_a = \frac{v_{rms}}{\frac{2\pi}{\sqrt{2}} k_w f \emptyset} \quad (18)$$

$$z = 2m w_a \quad (19)$$

$$z_0 = \frac{z}{N_s} \quad (20)$$

Motor çalışma gerilimi ( $v$ ), transistörler üzerindeki gerilim düşümü ( $v_{trs}$ ) kullanılarak motorun etkin gerilimi ( $v_{rms}$ ) hesaplanmalıdır, etkin gerilim değeri motor faz akımlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Tasarımı geliştirilen fırçasız doğru akım motoru için stator ile rotor arasındaki hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğu ( $B_g$ ) 0,98T olarak seçilmiş, kutup adımı ( $\tau_p$ ) ve paket boyu ( $L$ ) kullanılarak kutup başına manyetik akı ( $\emptyset$ ) Eşitlik 17' deki gibi hesaplanmıştır. Eşitlik 13, 15, 16 ve 17 kullanılarak hesaplanmış olan sargı faktörü ( $k_w$ ), frekans ( $f$ ) kutup başına manyetik akı ( $\emptyset$ ) ve etkin gerilim ( $v_{rms}$ ) değerleri kullanılarak faz başına sarım sayısı ( $w_a$ ), Eşitlik 18'deki gibi hesaplanmıştır. Faz başına sarım sayısı ( $w_a$ ), faz sayısı ( $m$ ) kullanılarak toplam iletken sayısı ( $z$ ) ve sarım sayısı ( $z_0$ ), Eşitlik 19 ve 20 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$I_f = \frac{P}{eff \cdot m \cdot v_{rms}} \quad (21)$$

$$q_{cu} = \frac{I_f}{J} \quad (22)$$

$$A_{sl} = \frac{q_{cu} \cdot 46}{0,73} \quad (23)$$

$$\tau_0 = \frac{\pi D}{N_s} \quad (24)$$

Hibrit araç parametrelerine göre hesaplanan güç değeri ( $P$ ), varsayımda bulunulan motor verimi ( $eff$ ), motor faz sayısı ( $m$ ) ve motor etkin gerilimi ( $v_{rms}$ ) değerleri kullanılarak motor faz akımları hesaplanmıştır. Motorun faz başına akım değerlerinin hesaplanmasının ardından, varsayımda bulunulan akım yoğunluğu ( $J$ ) kullanılarak Eşitlik 22 ile iletken kesiti ( $q_{cu}$ ) hesaplanmıştır. Hesaplanan iletken kesiti ( $q_{cu}$ ), sarım sayısı ( $N_s$ ) ve doluluk oranı kullanılarak oluk alanı ( $A_{sl}$ ) hesaplanmıştır.

$$I_f = \frac{P}{eff \cdot m \cdot v_{rms}} \quad (25)$$

$$q_{cu} = \frac{I_f}{J} \quad (26)$$

$$A_{sl} = \frac{q_{cu} \cdot 46}{0,73} \quad (27)$$

Boşluktaki manyetik alan yoğunluğu ( $B_g$ ), oluk adımı ( $\tau_0$ ), stator dişlerindeki manyetik alan yoğunluğu ( $B_d$ ) ve istifleme faktörü ( $k_{fe}$ ) kullanılarak diş genişliği ( $b_d$ ) hesaplanmıştır. Yönlendirilmemiş silisli sacların kullanıldığı fırçasız doğru akım motoru uygulamalarında istifleme faktörünün 0,95 olarak alınması uygundur. Ayrıca M27\_29G saclarının istiflenerek kullanıldığı motor uygulamalarında stator dişlerindeki manyetik akı yoğunluğunun 2,3 T değerinde alınması uygundur (Hendershot ve Miller, 2010). Eşitlik 24 ile hesaplanan oluk adımı ( $\tau_0$ ) ve diş genişliği ( $b_d$ ) kullanılarak oluk üst genişliği ( $b_o$ ) ve oluk alanının ( $A_{sl}$ ), oluk üst genişliğine ( $b_o$ ) bölünmesiyle diş yüksekliği ( $h_o$ ) hesaplanmıştır.

$$h_b = \frac{\tau_p}{2 \cdot k_{fe} \cdot B_b} B_g \quad (28)$$

$$D_i = D - 2h_o - 2h_b \quad (29)$$

Eşitlik 29 sonrasında motorun stator kısmına ait bütün boyutlandırma hesapları tamamlanmıştır. Stator boyutlandırmasının ardından rotor boyutlandırmasının yapılması gerekmektedir. Motor imalatında oluşabilecek hatalar göz önünde bulundurularak stator ile rotor arasındaki hava aralığı ( $\delta$ ) 1mm olarak seçilmiştir.

$$h_{rb} = \frac{\tau_p}{2 \cdot k_{fe} \cdot B_{rb}} B_g \quad (30)$$

$$D_o = D_i - 2d_{mag} - 2h_{rb} \quad (31)$$

Rotor boyunduruk yüksekliği ( $h_{rb}$ ); boşluktaki manyetik akı yoğunluğu ( $B_g$ ), rotor adımı ( $\tau_p$ ), istifleme faktörü ( $k_{fe}$ ) ve rotor boyunduruğundaki manyetik akı yoğunluğu ( $B_{rb}$ ) kullanılarak rotor boyunduruk yüksekliği ( $h_{rb}$ ) hesaplanmıştır.

Sabit mıknatıslı fırçasız doğru akım motorlarında kullanılan sabit mıknatısların kalınlıkları, rotor ile stator arasındaki hava aralığının 10 katına kadar seçilebilmektedir (Hanselman, 2006). Bu çalışmada geliştirilen motor tasarımları, yüksek güç üretmedikleri için mıknatıs kalınlığı ( $d_{mag}$ ) 4mm olarak seçilmiştir.

Çalışma kapsamında tasarımı yapılan düşük çalışma gerilimli motor tasarımına ve daha önceden hibrit araç uygulamasında kullanılmak üzere tasarlanan yüksek çalışma gerilimli motor tasarımına ait boyutlandırma hesapları sonuçları ve rotor pozisyonu, kutup sayısı gibi temel makine parametreleri Tablo 4'te verilmiştir.

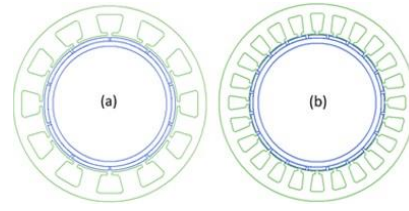
Tablo 4. Motor Boyutları

Parametre	Sembol	300 V Motor Tasarımı	96 V Motor Tasarımı
Birim Hacim Moment	TRV	20 kNm/m <sup>3</sup>	20 kNm/m <sup>3</sup>
Stator Dış Çapı	$D$	229 mm	229 mm
Stator İç Çapı	$d_{st}$	157,8 mm	157,8 mm
Rotor Dış Çapı	$D_{rt}$	156 mm	156 mm
Rotor İç Çapı	$d_{rt}$	135 mm	135 mm
Oluk Sayısı	$N_s$	12	18
Kutup Sayısı	$2p$	10	20
Paket Boyu	$L$	80 mm	80 mm
İstifleme Faktörü	$k_{fe}$	0,95	0,95
Sargı Faktörü	$k_w$	0,99	0,99
Dağılma Faktörü	$k_d$	1	1
Kirişleme Faktörü	$k_p$	0,99	0,99
Kutup Başına Manyetik Akı	$\emptyset$	$3.11 \cdot 10^{-3}$ Wb	$1.55 \cdot 10^{-3}$ Wb
Faz Başına Sarım Sayısı	$w_a$	109,83	21,88
Toplam İletken Sayısı	$z$	658,98	131,30
Sarım Sayısı	$z_0$	55	5
Varsayılan Motor Verimi	eff	0,95	0,95
Motor Faz Sayısı	$m$	3	3
Mıknatıs Kalınlığı	$d_{mag}$	4 mm	4 mm

Çalışmanın bu kısmında hesaplanan motor boyutları ve Tablo 4'te verilmiş olan değerler kullanılarak düşük gerilimli fırçasız doğru akım motoru tasarımı ANSYS Electronics Desktop yazılımının Rmxprt modülü kullanılarak yapılmıştır.

### 3. Bulgular

Elde edilen motor tasarımlarının 2 boyutlu görselleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Motor Tasarımları (a) 300 V, (b) 96 V

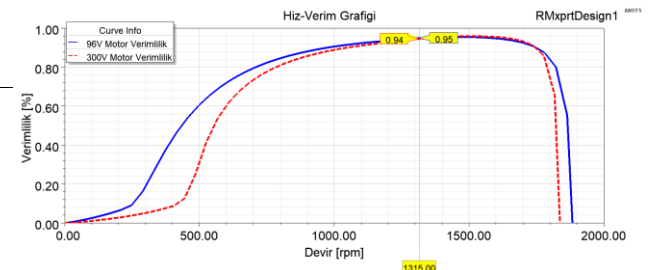
Verilmiş olan iki farklı motor tasarımının görsellerine ilk bakışta, 300 V motor tasarımında kullanılan kutup sayısı daha az olduğu için mıknatısların açıları daha yüksek olmakta ve bu durum neodmiyum mıknatısların hassas olmasından kaynaklanan imalat zorluklarının oluşacağını göstermektedir.

Tanımlamaları ve tasarımı yapılan motorların, ANSYS Rmxprt modülüyle "Sabit Hız" analitik hesaplamaları yapılmıştır ve Tablo 5'de sunulmuştur.

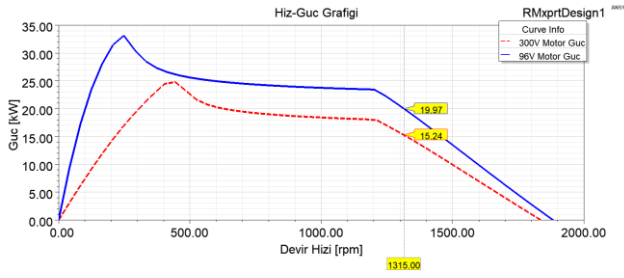
Tablo 5. Sabit Hız Analiz Koşulları İle Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Gerilim	300 V	96V
Devir Hızı (rpm)	1315	1315
Giriş Gücü (kW)	12,05	19,77
Kayıp (kW)	1,12	1,28
Verim (%)	90,71	93,53
Moment (Nm)	110,75	145,07
Armatür Akım Yoğ. (A/m <sup>2</sup> )	7,84	10,2
Dış Akı Yoğ. (T)	1,51	0,98
Boyunduruk Akı Yoğ. (Stator) (T)	1,55	1,06
Boyunduruk Akı Yoğ. (Rotor) (T)	1,35	1,47

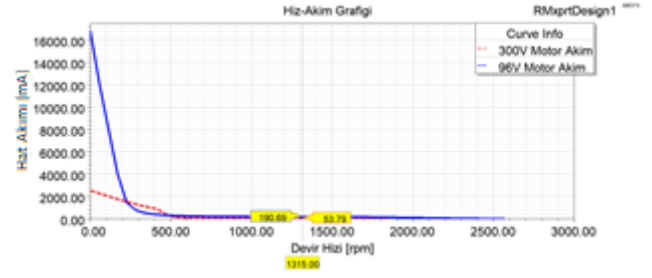
Tablo 5'de sabit hız analiz koşulları verilmiş ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması sunulmuştur. Yapılan tasarımlara ilişkin hız-verimlilik grafikleri Şekil 5'te, hız-güç grafikleri Şekil 6'da ve hız-moment grafikleri Şekil 7'de verilmiştir. Verilen grafikler de iki tasarıma ilişkin eğriler nesnel bir değerlendirme yapılabilmesi amacıyla aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



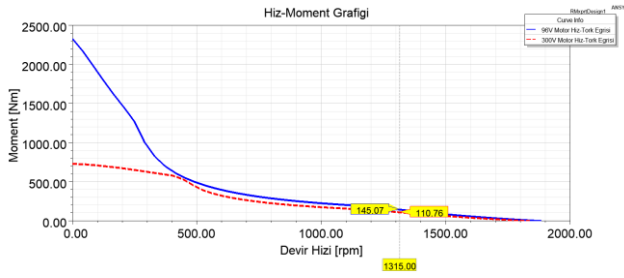
Şekil 5. Motor Tasarımlarına Ait Hız-Verimlilik Eğrilerinin Karşılaştırılması



Şekil 6. Motor Tasarımlarına Ait Hız-Güç Eğrilerinin Karşılaştırılması



Şekil 8. Motor Tasarımlarına Ait Hız-Akım Eğrilerinin Karşılaştırılması



Şekil 7. Motor Tasarımlarına Ait Hız-Moment Eğrilerinin Karşılaştırılması

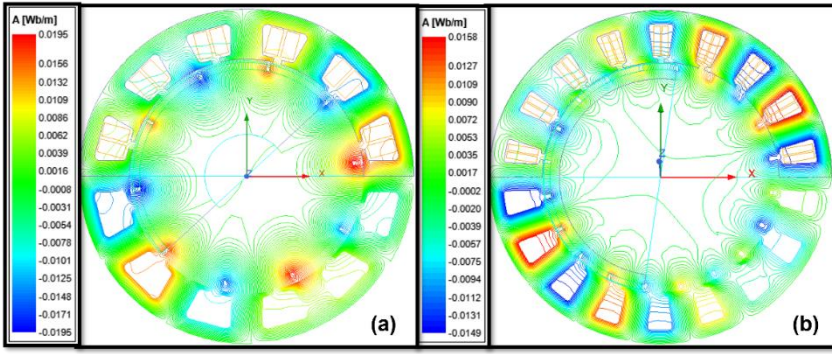
Şekil 5, 6 ve 7' de sırasıyla iki farklı gerilimdeki (300 V, 96 V) motor tasarımlarına ait olan hız-verimlilik, hız-güç ve hız-moment grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, her iki motor tasarımının da verim değerlerinin %90 üzerinde olduğu fakat 96 V motor tasarımının verim değerinin daha yüksek (%95) olduğu görülmektedir. Aynı zamanda 96 V motor tasarımı 300 rpm gibi düşük devir hızlarında da yüksek verim sağlamaktadır. Bu sebepten dolayı bu çalışma için daha uygun bir motor tasarımı olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 6'da verilmiş olan hız-güç grafiğine göz önüne alındığında, 96 V gerilimli motor tasarımının diğer tasarıma göre aynı hız değerlerinde daha yüksek güç sağlayabildiği görülmektedir. Aynı hız değerlerinde 96 V gerilimli motor tasarımının daha yüksek moment (145 Nm) değerine sahip olduğu Şekil 7'de verilmiş olan grafikten anlaşılmaktadır. Şekil 8'de motor tasarımlarına ait hız-akım grafikleri verilmiştir.

Motorun çalışma geriliminin düşürülmesi beklenildiği üzere hat akımının artmasına sebep olmuştur. Grafiklerden edinilen bilgilere göre 96 V gerilimli motor tasarımının diğer motor tasarımına göre daha verimli (%1 daha fazla), yüksek moment sağlayabilen (35 Nm daha yüksek), çalışma için gerekli olan hız değerinde daha yüksek güç (%25 daha yüksek) sağlayabildiği ve dolayısıyla gerilim düşümüne (3.1 kat) bağlı olarak artması öngörülen hat akımının daha fazla (3.5 kat) arttığı gözlemlenmiştir.

ANSYS Electronics Desktop yazılımının RMXprt modülünde yapılan analitik hesaplama ve tasarım çalışmalarının ardından motor tasarımları, Maxwell 2D modülünde sonlu elemanlar analizlerine tabi tutulmuştur. Bu analizlerle motorun rotor ve stator gövdeleri üzerindeki kaçak reaktansların belirlenmesi, akı çizgilerinin, manyetik akı yoğunluklarının, manyetik alan vektörlerinin ve motorun rotasyonu konusunda bilgilerin elde edilebilmesi amaçlanmaktadır.

RMXprt modülünde tamamlanan analitik hesaplamalar ve tasarım çalışmaları, ANSYS Maxwell 2D modülünde iki farklı yöntemle sonlu elemanlar analizine tabi tutulabilmektedir, bunlardan ilki "Magnetostatic Analysis" diğeri ise zamana bağımlı olan "Transient Analysis" dir. Çalışmanın bu kısmında daha gerçekçi sonuçların elde edilebilmesi amacıyla "Transient Analysis" ile geçici rejim analizi sonuçları elde edilmiş ve bu sonuçlar paylaşılmıştır.

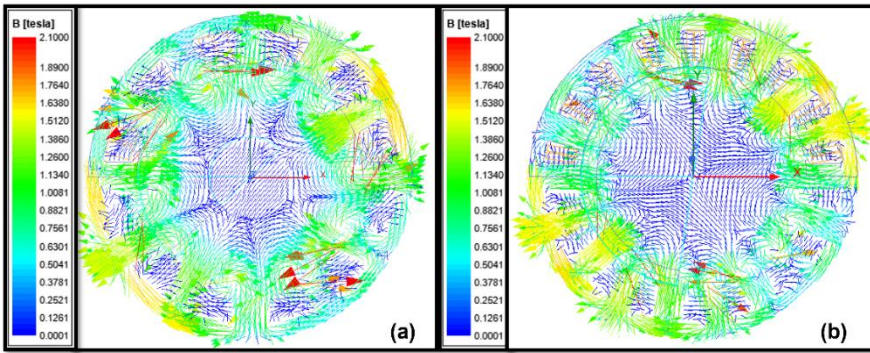
Yapılan geçici rejim analizleriyle, motorun rotasyonu simüle edilerek oluşan akı çizgileri, manyetik akı yoğunlukları, moment-akım-gerilim grafikleri incelenmiştir. Böylelikle moment dalgalanmaları ve sonlu eleman analizleri ve analitik hesaplamalarla elde edilen moment değerlerinin birbirine olan yakınlıkları gözlemlenmiştir. Yapılan geçici rejim analizleri sonucunda elde edilen akı çizgilerine ait görseller iki farklı gerilimdeki (300 V ve 96 V) motor tasarımları için Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Geçici Rejim Analizleri Manyetik Akı Çizgileri (a) 300 V, (b) 96 V

ANSYS Maxwell modülünde, 2B olarak yapılan analizler sonucunda elde edilen Şekil 9'da verilen manyetik akı çizgileri incelendiğinde, 96 V'luk motor tasarımındaki akı çizgileri diğer tasarıma göre çok daha homojenlik göstermektedir.

Yapılan geçici rejim analizleri sonucunda elde edilen manyetik alan vektörlerine ait görseller iki farklı gerilimdeki (300 V ve 96 V) motor tasarımları için Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Geçici Rejim Analizleri Manyetik Alan Vektörleri (a) 300 V, (b) 96 V

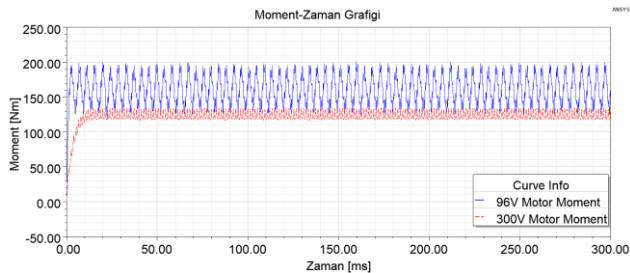
ANSYS Maxwell modülünde, 2B olarak yapılan analizler sonucunda, Şekil 10'da verilen manyetik alan vektörleri incelendiğinde, her iki motor tasarımındaki vektör yoğunluklarının ve yönlerinin motor kullanımı için uygun olduğu görülmektedir.

Yapılan geçici rejim analizi sonucunda elde edilen sabit hız (1315 rpm) koşulu altındaki moment-zaman grafikleri iki gerilimdeki (300 V ve 96 V) motor tasarımı için Şekil 11'de verilmiş ve moment dalgalanmalarının karşılaştırılması Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6 Moment Dalgalanmalarının Karşılaştırılması

Gerilim	300 V	96V
Maks. Moment (Nm)	134,54	190,54
Min. Moment (Nm)	116,33	116,33
Ortalama Moment (Nm)	127,53	167,25
Moment Dalgalanması (%)	%14	%20

Elektrikli ve hibrit otomobiller için tasarlanmış olan motorlardaki moment dalgalanmaları %25-30 seviyelerine kadar olabilmektedir. Moment dalgalanmalarının fazla olması, motorun dönüşü esnasında titreşim ve ses yaratmaktadır. Yüze sabit olan mıknatısların bulunduğu motorlardaki tork dalgalanmaları yüze gömülü motorlara göre daha yüksek seviyelerde olabilmektedir. Ticari otomobiller için istenmeyen bu durumun mümkün olduğunca az olması istenmektedir (Tumbek ve Kesler, 2019). Bu çalışma kapsamında tasarlanmış olan 96V gerilimindeki motor %20 tork dalgalanmasına sahip olup, çalışmanın sonraki aşamalarında dış geometrilerinin, hava



Şekil 11. Moment-Zaman Grafikleri

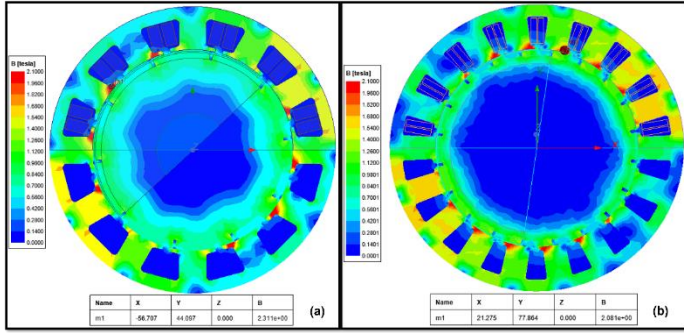


aralığının ve mıknatıs geometrilerinin değiştirilmesiyle azaltılması amaçlanmaktadır.

ANSYS Maxwell 2B olarak yapılan analizler sonucunda, Şekil 14' de verilen moment-zaman grafiği incelendiğinde, iki motor tasarımına ait (300 V ve 96 V) moment grafikleri yeterince dengeli ve uygundur. Grafikten anlaşıldığı üzere her iki motor tasarımının bir miktar moment dalgalanmalarının olduğu görülmekte,

yük altında motor çalışması durumunda ve dalgalanma periyotlarının çok kısa süreli olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu dalgalanmaların hissedilmeyeceği düşünülmektedir.

Yapılan geçici rejim analizleri sonucunda elde edilen manyetik alan yoğunluklarına ait görseller her iki gerilimdeki (300 V ve 96 V) motor tasarımı için Şekil 12' de verilmiştir.

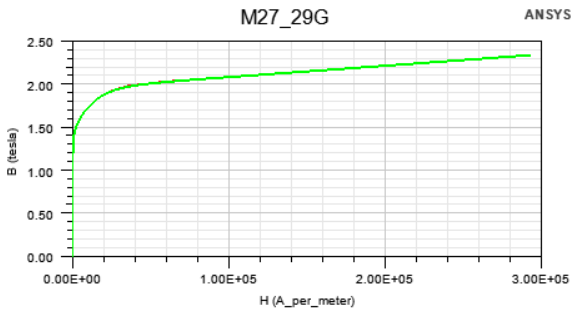


Şekil 12. Geçici Rejim Analizleri Manyetik Akı Yoğunlukları (a) 300 V, (b) 96 V

ANSYS Maxwell 2B olarak yapılan analizler ile elde edilen ve Şekil 12'de verilen dönüş esnasındaki manyetik akı yoğunlukları incelendiğinde 96 V çalışma gerilimli motor tasarımının B değeri 2,1T civarında olduğu görülmektedir. Motorların stator ve rotorlarında kullanılan saclara ait BH eğrisi Şekil 13' de verilmiştir.

2.31T maksimum akı yoğunluğu oluşmakta, 96V motor tasarımında ise 2.08T maksimum akı yoğunluğu oluşmaktadır. Bu durum 300V gerilimindeki motorun demir kayıplarının toplam kayba oranının (%20), 96V gerilimindeki motora göre (%18) daha fazla olmasına sebep olmaktadır.

Elde edilen değerlerden ve grafiklerden görüleceği üzere, 300 V motor tasarımı bu uygulamada ihtiyaç duyulan moment-güç-devir gereksinimlerini sağlamaktadır. Fakat motorun sürülebilmesi için tasarlanacak motor sürücüsünde kullanılacak olan anahtarlama elemanları için bu voltaj değeri oldukça yüksek ve risklidir. Bu çalışma geriliminde sağlıklı çalışabilecek ve uygun maliyetli anahtarlama elemanlarını bulmak çok zor olduğu için çalışma geriliminin düşürülmesi amacıyla farklı bir motor tasarımı daha yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; çalışmanın esas amacı olan tehlikeli alt sınır altında kalan bir DC gerilimde çalışabilen fırçasız doğru akım motor tasarımı elde edilmiştir. Hibrit araç uygulaması amacıyla tasarlanan yüksek gerilimli (300 V) motor tasarımına kıyasla daha yüksek verim sağlayan, aynı hız değerinde daha yüksek moment sağlayabilen, demir kayıplarının daha düşük olduğu bir motor tasarımına ulaşılmıştır. Böylelikle hem motorun hem de motor sürücüsünün üretim aşamaları kolaylaştırılmış, maliyet düşürülmüş ve çalışma geriliminin daha güvenli aralıkta olması sağlanmıştır.



Şekil 13. M27\_29G Sacına Ait BH Eğrisi

Bu sac için 1,5-2T arasında kalan dirsek bölgesinde doyum başlamaktadır. Fırçasız doğru akım motorlarının dişlerinde oluşan manyetik akı yoğunlukları diş ortalarında 1,6T-1,8T aralığında, diş diplerinde ise 1,8T-2,1T aralığında olması uygun olmaktadır. Bu değerlerin üstüne çıkılması durumunda motorun demir kayıpları artmakta, daha düşük değerlerde olması ise makinenin gerekenden daha fazla hacim kaplamasına neden olmaktadır.

Çalışma kapsamında tasarlanan motorların manyetik akı yoğunlukları incelendiğinde maksimum değerlerin (2.1T) diş diplerinde olduğu görülmektedir. Akı skalalarından görüldüğü üzere 300V motor tasarımında

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada daha önceden yapılan yüksek çalışma gerilimindeki iç rotorlu fırçasız doğru akım motorunun daha düşük gerilimde çalışması amacıyla yeni bir tasarım yapılmış, düşük maliyetli ve düşük riskli bir

tasarım elde edilmiştir.

Fırçasız doğru akım motorları, devir hızlarının sınırlı olmasından kaynaklı olarak elektrikli ve hibrit elektrikli araçlarda büyük bir kullanım alanı bulamamışlardır. Fakat yüksek güç yoğunluğu ve yüksek moment özelliklerinden kaynaklı olarak paralel hibrit yapıdaki hibrit araçlarda kullanım alanı bulabilmektedirler. Bu çalışmayla, paralel yapıdaki hafif ticari bir hibrit araç için ihtiyaç duyulan değerleri (moment, güç, devir) sağlayan farklı çalışma gerilimlerine sahip (300 V ve 96 V) iç rotorlu fırçasız doğru akım motorları tasarlanmış ve sonlu elemanlar analizleri sonuçları karşılaştırılmıştır.

Elektrik motorunun çalışma geriliminin düşürülmesi maliyet ve güvenlik konularında fayda sağlayabilmekte fakat gerilimin düşürülmesi akımın artmasına sebep olmaktadır. Bu çalışma kapsamında tasarlanan iki farklı motorun güç seviyeleri göz önüne alındığında maksimum akım değeri, 40A değerinden 110A değerine çıkmaktadır. Akım değerindeki bu artış göz önüne alındığında motor sürücüsünde kullanılması planlanan anahtarlama ekipmanının ve ayrıca testler için kullanılacak endüstriyel motor sürücüsünün çalışma aralığında bulunmaktadır. Son olarak fırçasız doğru akım motorunun geriliminin düşürülmesi bakır kayıplarının artmasına sebep olmakta, 300V gerilimli motor tasarımı için bakır kayıpları 263W iken 96V gerilimli motor tasarımı için bakır kayıpları 740W değerindedir. Bu fark ise sarım sayısı, iletken kesiti gibi değerlerden dolayı oluşmaktadır. Daha detaylı irdelemek gerekirse motorun aynı hızda dönebilmesi için, 300V gerilim yerine 96V gerilimde yapılan motor tasarımında daha düşük zıt elektromotor kuvveti elde edilmektedir. Bir başka deyişle motor sabiti ve motor tork sabiti daha düşük olduğu için aynı hızı sağlayabilmek amacıyla daha fazla akım basılmasına, bu da daha kalın iletken ve daha fazla sarım kullanılmasına ve dolayısıyla bakır kayıplarının artmasına sebep olmaktadır.

Sonuç olarak bu uygulama için en uygun motorun 96 V gerilimli olduğuna karar verilmiş ve çalışmanın başında amaçlanan çalışma geriliminin düşürülmesi gayesine ulaşılmıştır.

Çalışmanın ilerleyen zamanlarında üretilmiş olan motor ile tasarım aşamasında elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılarak bir başka yayında sunulması planlanmaktadır. Ayrıca iki adet motor üretilmiş olup bir tanesinde hazır ürün olarak satın alınmış ithal mıknatıs diğeri yüksek bor katkıları yerli üretim mıknatıs kullanılarak performans kıyaslamasının yayınlanması planlanmaktadır.

### Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 216M252 proje

numaralı ve "İçten Yanmalı Motorlu Taşıtlar için Yakıt Verimliliğini Arttırıcı ve Yenilikçi Teknolojilerin Geliştirilmesi" başlıklı ARDEB 1003 projesi kapsamında desteklenmiş ve finanse edilmiştir.

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 33416 ve 52033 numaralı projeler ile desteklenmiş ve finanse edilmiştir.

### Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Yazar1, motor tasarımı, literatür araştırması vb.; Yazar2, tasarımın kontrol edilmesi, üretime yönelik tasarım aşamalarının irdelenmesi vb.; Yazar3, motor tasarımının test ve analiz safhalarının düzenlenmesi, bulguların gözden geçirilmesi, makalenin düzenlenmesi vb. konularında katkı sağlamışlardır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### Kaynaklar

- Akar, M., Eker, M. ve Akın, F. (2021). BLDC motor design and application for light electric vehicle. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(2), 326-336. doi: <http://dx.doi.org/10.35414/akufemubid.889877>
- Çabuk, A.S., Sağlam, S. ve Üstün, Ö. (2019). Farklı sargı yapılarının tekerlek içi fırçasız doğru akım motorlarının verimi üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(4), 1975-1986. doi: <http://dx.doi.org/10.17341/gazimmfd.571649>
- European Standards, (2016). "IEC 61140:2016," 2016. Erişim adresi: <https://www.en-standard.eu/iec-61140-2016-protection-against-electric-shock-common-aspects-for-installation-and-equipment/>.
- Hanselman, D. (2006). Brushless permanent magnet motor design. Ohio: Magna Physics Publishing.
- Hendershot, J.R. ve Miller, T.J.E. (2010). Design of brushless permanent-magnet motors. Munich: Motor Design Books LLC.
- Husain, I. (2003). Electric and hybrid vehicles design fundamentals. New York: CRC Press.
- Infineon IRFP4310ZPBF (2022). Infineon IRFP4310ZPBF. Erişim adresi: <https://www.infineon.com/dgdl/irfp4310zpbfd.pdf?fileId=5546d462533600a40153562c469e200f>.

- Sitapati, K. ve Krishnan R. (2001). Performance comparisons of radial and axial field. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 37(5), 1219-1226. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/28.952495>
- Kerem, A. (2021). Design implementation and speed estimation of three-phase 2 kW out-runner permanent magnet BLDC motor for ultralight electric vehicles. *Electrical Engineering*, 103(5), 2547-2559. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00202-021-01279-5.8>
- Mukherjee, P. ve Sengupta, M. (2014). *Design, analysis and fabrication of a brushless DC motor*, 2014 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems Konferansında Sunulmuş Bildiri, Mumbai.
- Nair, S.S., Nalakath, S. ve Dhinagar, S.J. (2011). *Design and analysis of axial flux permanent magnet BLDC motor for automotive applications*, 2011 IEEE International Electric Machines & Drives Conference Konferansında Sunulmuş Bildiri, Niagara Falls.
- Nugraha, Y.U., Yuniarto, M.N., Herizal, H., Asfani, D.A., Riawan, D.C. ve Wahyudi, M. (2018). *Design analysis of axial flux permanent magnet BLDC motor 5 kW for electric scooter application*, 2018 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications Seminerinde Sunulmuş Bildiri, Bali.
- Rahim, N.A., Ping, H.V. ve Tadjuddin, M. (2007). *Design of axial flux permanent magnet brushless DC motor for direct drive of electric vehicle*, 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting Konferansında Sunulmuş Bildiri, Tampa.
- Reif, K. ve Dietsche, K. (2014). *Automotive handbook*. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH.
- Sanguesa, J. A., Torres-sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J. ve Marquez-barja, J. M. (2021). A review on electric vehicles : technologies and challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372-404. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/smartcities4010022>
- Saxena, A. (2014). *Performance and cost comparison of PM BLDC motors for ceiling fan*, 2014 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems Konferansında Sunulmuş Bildiri, Mumbai.
- Shrivastava, N. ve Brahmin, A. (2014). Design of 3-phase BLDC motor for electric vehicle application by using finite element simulation. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(1), 140-145. Erişim adresi: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=81afd8f342ed9d37762d24de4467550a31b4cc32>
- Singh, V.K., Marwaha, S. ve Singh, A.K. (2017). Design and analysis of permanent magnet brushless DC motor for solar vehicle using ansys software. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 6(4), 1215-1220. doi: <http://dx.doi.org/10.17577/IJERTV6IS040795>
- Thacher, E.F. (2015). *A solar car primer a guide to the design and construction of solar-powered racing vehicles*. New York: Springer.
- Tumbek, M. ve Kesler, S. (2019) Design and implementation of a low power outer-rotor line-start permanent-magnet synchronous motor for ultra-light electric vehicles. *Energies*, 12(16), 3174. doi: <http://dx.doi.org/10.3390/en12163174>
- Ustun, O., Yılmaz, M., Gökçe, C., Karakaya, U. ve Tuncay, R.N. (2009). *Energy management method for solar race car design and application*, 2009 IEEE International Electric Machines and Drives Conference Konferansında Sunulmuş Bildiri, Miami.
- Uygun, D. ve Solmaz, S. (2015). *Design and dynamic study of a 6 kw external rotor permanent magnet brushless DC motor for electric drivetrains*, 2015 IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives Konferansında Sunulmuş Bildiri, Riga.
- Vargo, B.O. (2013). Electric vehicles, primary energy sources and CO<sub>2</sub> emissions: romanian case study. *Energy*, 49(1), 61-70. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.10.036>
- Zarko, D., Ban, D. ve Lipo, T.A. (2009). Analytical solution for electromagnetic torque in surface permanent-magnet motors using conformal mapping. *IEEE Transactions on Magnetics*, 45(7), 2943-2954. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TMAG.2009.2014689>
- Zhao, L., Ham, C., Zheng, L., Wu, T., Sundaram, K., Kapat, J. ve Chow, L. (2007). A highly efficient 200 000 rpm permanent magnet motor system. *IEEE Transactions on Magnetics*, 43(6), 2528-2530. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TMAG.2007.893523>

## STACKOVERFLOW'DA "BIG DATA" İLE İLGİLİ GÖNDERİLERİN KONU MODELLEME VE BİRLİKTELİK ANALİZİ İLE ÖZELLİKLERİNİN ÇIKARILMASI

Adile GENÇ<sup>1</sup>, Ayça YURTSEVEN<sup>2</sup>, Hacer ÖZYURT<sup>3</sup>, Özcan ÖZYURT<sup>4\*</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Trabzon

<sup>1</sup> ORCID No : <https://orcid.org/0009-0001-6520-8596>

<sup>2</sup> ORCID No : <https://orcid.org/0009-0002-6361-6796>

<sup>3</sup> ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-8621-2335>

<sup>4</sup> ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-0047-6813>

Anahtar Kelimeler	Öz
Konu Modelleme LDA Birliktelik Analizi Büyük Veri Stackoverflow Gönderileri	<p>Günümüz teknolojisinde internet kullanımının artması ile birlikte "Büyük Veri" kavramının ortaya çıkması kaçınılmaz olmuştur. 23 milyondan fazla soru ve 35 milyona yakın cevap barındırarak büyük veriye katkı sağlayan StackOverflow'da paylaşılan bilgilerin analiz edilmesi güncel konuların ve eğilimlerin belirlenmesi konusunda ciddi çıkarımlar sunabilmektedir. StackOverflow'daki bu büyük ve dağınık veri kümesi üzerinde tartışmaların elle analiz edilmesi mümkün olmadığı için otomatik analiz yapabilecek yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı gidermek için konu modelleme yaklaşımlarına başvurulmuştur. Konu modelleme alanında yapılan çalışmalarda Gizli Dirichlet Ataması (Latent Dirichlet Allocation - LDA) yöntemi oldukça tercih edilmiş ve başarısı ispatlanmıştır. Yürütülen çalışmada LDA yöntemi kullanılarak StackOverflow platformu üzerinde "Big Data" etiketli soruların ve bu soruların cevaplarının anlamsal analizi yapılmış olup büyük veri hakkında en çok konuşulan konuların %16'lık bir oran ile makine öğrenmesi/veri bilimi ve bellek yönetimi olduğu sonucuna varılmıştır. StackOverflow'da gönderilerin etiketleri ile veri seti oluşturulmuş ve birliktelik analizi yapılmıştır. Bu aşamanın asıl amacı Apriori algoritması kullanarak görülemeyen ilişkileri ortaya çıkarmaktır. Elde edilen veriler sonucunda en yüksek oran ile 100 sorunun 25'inde bigdata etiketi ile hadoop etiketinin beraber kullanıldığı görülmüştür. Ek olarak hive etiketini kullanan biri %60 gibi bir ihtimalle hadoop ve bigdata etiketini de kullanmaktadır ve bu etiketlerin kullanım oranını 2.39 artırmaktadır.</p>

## EXTRACTING FEATURES OF "BIG DATA" RELATED POSTS ON STACKOVERFLOW WITH TOPIC MODELING AND ASSOCIATION ANALYSIS

Keywords	Abstract
Topic Modeling LDA Association Analysis Big Data Stackoverflow Posts	<p>With the increasing use of the internet in today's technology, the emergence of the concept of "Big Data" has become inevitable. With more than 23 million questions and nearly 35 million answers, analyzing the information shared on StackOverflow, which contributes to big data, can provide serious inferences about current issues and trends. Since it is not possible to manually analyze discussions on this large and dispersed dataset on StackOverflow, there is a need for methods that can perform automatic analysis. To address this need, topic modeling approaches have been used. Latent Dirichlet Allocation (LDA) method has been highly preferred and proven successful in topic modeling studies. In the current study, the LDA method was used to semantically analyze the questions labeled "Big Data" and the answers to these questions on the StackOverflow platform, and it was concluded that the most talked about topics about big data are machine learning/data science and memory management with a rate of 16%. In StackOverflow, a dataset was created with the tags of the posts and association analysis was performed. The main purpose of this stage is to reveal invisible relationships using the Apriori algorithm. As a result of the data obtained, it was seen that the bigdata tag and hadoop tag were used together in 25 out of 100 questions with the highest rate. In addition, someone who uses the hive tag is 60% likely to use both hadoop and bigdata tags, increasing the usage rate of these tags by 2.39.</p>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 16.10.2023

Kabul Tarihi : 19.12.2023

## Research Article

Submission Date : 16.10.2023

Accepted Date : 19.12.2023

\* Sorumlu yazar: [oozyurt@ktu.edu.tr](mailto:oozyurt@ktu.edu.tr)<https://doi.org/10.31796/ogummf.1375611>

## 1. Giriş

Son yıllarda büyük hızla gelişen internet teknolojileri; web sayfaları, sosyal medya uygulamaları arama motorları, forumlar, gözlemler ve araştırmalar sayesinde her an bilimsel veya bilimsel olmayan verileri toplar hale gelmiştir (Atalı, 2018). Toplanan veriler sağlık hizmetleri, yapay zeka, eğitim, devlet hizmetleri veya bankacılık gibi alanların yanında araştırmacıların yapmış oldukları araştırmalarda da kullanılabilir nitelik taşıyabilmektedir. Yediden yetmişe herkesin dijital ortama veri kaydedebilmesi ve bu verilerin günümüzde hız, çeşitlilik, kapasite (hacim) açısından büyük artış göstermesi, bu artışa teknolojinin de destek vererek veriyi daha değerli hale getirmek için yeni çözümler üretmesi ile birlikte "Büyük Veri" kavramının ortaya çıkması kaçınılmaz olmuştur (Atalı, 2018).

Büyük veri terimi ilk ortaya çıktığından itibaren üç ana bileşeni (3V) olan çeşitlilik (variety), hız (velocity) ve hacme (volume) ek olarak 5V, 7V, 10V gibi farklı sayıdaki özelliklerle de ifade edilmiştir (Favaretto ve diğ. 2020). Büyük veriler, anlamlı sonuçlara dönüştürülemediği sürece sadece bir maliyet unsuru olarak kalır. Bu yüzden her geçen gün boyutu artan büyük verilerin anlamlı verilere dönüştürülmesi için doğru analiz algoritmaları kullanılmalıdır (Eravcı, 2010). Büyük verinin özelliklerini ele alan araştırmacılar, çok büyük miktarlardaki büyük veriyi yönetmek, veriden değerli bilgi elde etmek ve bilinmeyen ilişkileri keşfetmek için büyük veri analiz yöntemlerini kullanmaktadır (Altunışık, 2015).

Büyük veri; veri madenciliği, makine öğrenmesi, doğal dil işleme gibi disiplinlerde kullanılmaktadır. Bu bağlamda yapılan analizler daha akıllı iş hamlelerine, daha hızlı karar vermeye, daha verimli operasyonlara, mevcut süreçlerin etkinliğinin artmasına, beklentilere uygun ürün geliştirme gibi farklı alanlarda doğru kararlar alınmasına imkan sağlar (Hoş, 2020). Günümüzde bilgiye erişim ve bilgi paylaşımına ihtiyaç göz önünde bulundurulduğunda soru cevap platformlarının popülaritesi gittikçe artmıştır (Bakir, Hakkoymaz, Diri ve Güçlü, 2020).

Yazılım sektöründe dünyanın en popüler soru cevap platformlarından biri olan StackOverflow insanların ihtiyaç duydukları yanıtları, ihtiyaç duydukları anda bulmalarına yardımcı olur. Her ay 100 milyondan fazla kişinin soru sormak, öğrenmek ve teknik bilgileri paylaşmak için ziyaret ettiği Stackoverflow'da kullanıcılar çok çeşitli konuları tartışabilir.

Bu kişilerin üzerinde tartıştıkları konuların anlaşılması, trendlerin ve eğilimlerin ortaya çıkarılması amacıyla bu platformda paylaşılan verilerin analiz edilmesi önemli çıkarımlar ortaya koyabilir (Gürcan ve Özyurt, 2021).

Stackoverflow'da soru, cevap ve etiketler üzerinden yapılan analizler araştırmacıların verilerden doğru şekilde yararlanmasında ve bunları yönetmesinde önemli rol oynar. Platform üzerinde her geçen gün kullanıcı sayısı ve sorulan soruların artmasıyla veri miktarı da sürekli artış göstermektedir. Bu veri büyüklüğü göz önünde bulundurulduğunda elle analiz yapmak mümkün olmadığı için otomatik araçlara olan ihtiyaç ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda veri işleme, veri analizi, konu modelleme, etiketlerin birliktelik analizi tekniklerinden faydalanılabilir.

Bu çalışma ile StackOverflow üzerinde "Big Data" konusunda yayınlanan soru ve cevaplardan konu modelleme tekniği olan LDA ile analiz yapılarak kullanıcıların konuştukları konuların belirlenmesi, etiketler üzerinde yapılacak birliktelik analizi ile ilişkilerin ortaya çıkarılması, en sık kullanılan etiketler ve bu etiketlerin yıllara göre dağılımlarının bulunması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçların bu konu ile ilgilenen araştırmacılara ve kullanıcılara yararlı bilgi sağlayacağı düşünülmektedir.

## 2. Bilimsel Yazın Taraması

Literatürde StackOverflow üzerindeki gönderilerin analizine yönelik çok sayıda çalışmadan söz edilebilir. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir: Gürcan ve Özyurt (2021), StackOverflow gönderilerinde en çok kullanılan 50 etiket üzerinde ivmesi artan ve azalan etiketleri analiz etmişlerdir. Bu analiz, kelime frekanslarına dayalı olarak, özellikle yenilikçi web ve mobil teknolojiler ile ilişkisel olmayan veri tabanı teknolojilerinin giderek artan bir ivmeyle kullanıldığı ve güncel teknolojilerin genel olarak benimsediği sonucunu ortaya koymuştur.

Rosen ve Shihab (2016), StackOverflow üzerinde mobil geliştiricilerin tartışmalarını LDA ile sorulan soruların türlerini araştırarak mobil geliştiricilerin karşılaştığı zorlukları vurgulamayı amaçlamışlardır. Yang, Lo, Xia, Wan ve Sun (2016), StackOverflow üzerinde güvenlikle ilgili konuları ve eğilimleri araştırarak bu çalışmada, eğitimcilere ve uygulayıcılara çeşitli çıkarımlarda

bulunmak, konuların popülerliğini ve zorluğunu araştırmak için LDA kullanmıştır.

Bagherzadeh ve Khatchadourian (2019), geliştiricilerin ilgilendiği büyük veri konularını, bu konuların hiyerarşisini, popülerliklerini, zorluklarını ve korelasyonlarını ile bu tür bir anlayışın büyük veri yazılım geliştirme pratiği, araştırması ve eğitimi için etkilerini anlamak için StackOverflow'daki 157.525 büyük veri sorusunu ve cevabını LDA ile analiz edip konu modeli oluşturmuşlardır. Büyük veri geliştiricilerinin sorduğu soruları dokuz alt kategoride gruplandırmışlardır. Buna göre en fazla sorunun "Programlama" kategorisinde, en az soru ise "Günlüğe Kaydetme" kategorisinde sorulduğu görülmüştür. Çalışmanın sonucunda büyük veri konularının popülerliği ve zorluğu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır.

Zhang (2019) çalışmasında StackOverflow üzerinde Java ile ilgili gönderilerin konularını tespit etmek için LDA yöntemini kullanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, en popüler dört konu arasında "Sistem Platformu", "Java Arşivi", "Kaynakları İçer Aktarma" ve "Maven Yapısı" yer almıştır.

Syam, Lal ve Chen (2023) StackOverflow'daki Python ile ilgili gönderiler üzerinde yaptıkları çalışmada sorularının temasını anlamak ve geliştiricilerin karşılaştığı zorlukları belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, bilimsel hesaplama kütüphaneleri "Pandas" ve "TensorFlow" hakkındaki sorularda son zamanlarda bir artış olmuştur.

Ouni, Saidani, Alomar ve Mkaouer (2023), geliştiricilerin sürekli entegrasyon bağlamında karşılaştığı zorlukları anlamak için StackOverflow'da 27.728 gönderinin LDA ile analizini gerçekleştirmişlerdir. En popüler ve zor konuları, yanıtlanmamış sorulara dayanarak araştırıp ilgili iç görüleri ortaya çıkarmışlardır. Çalışma sonucunda "Build", "Testing", "Version Control", "Configuration", "Deployment" ve "CI Culture" olmak üzere altı ana konuda zorluklarla karşılaşıldığı ortaya çıkmıştır.

Ma, Zhou, Tag, Sarsenbayeva, Knibbe ve Goncalves (2023), kullanıcıların konularının Weibo'da görüntülenmesine ilişkin tutum ve görüşlerini 20.162 ilgili gönderi ve yorumda LDA aracılığıyla analiz etmişlerdir. Çalışmanın sonucu çoğu insanın olumsuz bir tutum sergilediğini göstermiştir.

Alan ve Yeşilyurt (2019), Apriori algoritması ile hastane veri tabanındaki 28.738 hastaya ait verileri kullanarak birliktelik kuralları analizini yapmışlardır. Çalışma, analiz sonucunda %60 ve üzeri güven seviyesine sahip olarak 64 birliktelik kuralının varlığını ortaya koymuştur. Bu kuralların hasta memnuniyetine katkı sağlayacağı ve sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesinde katkısı olacağı düşünülmektedir.

Doğan, Erol ve Buldu (2014) Apriori algoritmasını Türkiye'de faaliyet gösteren bir sigorta şirketinin müşterilerine ait verileri analiz etmek için kullanmışlardır. Analiz sonucunda müşterilerin bir arada almayı tercih ettikleri ürün gruplarını ortaya çıkarmışlardır. Bu sonuçlar, daha verimli satış kampanyaları ve pazarlama stratejileri geliştirmek için kullanılabilir bilgiler sağlamaktadır.

Konu modelleme, veri kümesi içindeki saklı konuları bulmak için kullanılan metin madenciliğinin istatistiksel bir yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Altıntaş, Albayrak ve Topal, 2021). İstatistik tabanlı konu modelleme yöntemleri, metni analiz ederken içeriğini veya anlamını anlayamazlar. Bunun yerine her konunun bir kelime havuzu olduğunu varsayarak, bir dokümanın da o havuzdan kelimelerin seçilerek oluşturulduğunu düşünür.

Konu modelleme, hissiyat analizi, soru cevaplama, bilgi çıkarımı gibi doğal dil işleme uygulamalarında oldukça sık kullanılmaktadır. Konu modelleme yöntemlerinden biri olan LDA'nın en çok tercih edilme sebeplerinden birisi de denetimsiz çeşitlerinin olmasıdır. Literatürde LDA ile yapılan pek çok araştırmaya ulaşmak mümkündür.

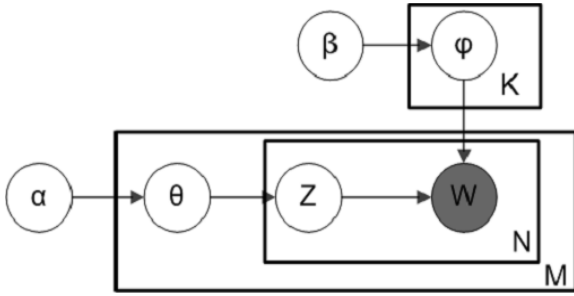
### 3. Gizli Dirichlet Ataması - Latent Dirichlet Allocation (LDA)

LDA, doküman içerisinden ilişkili konuların ortaya çıkartılmasını sağlayan olasılıksal üretici bir modeldir (Kaya ve Gülbandır, 2022). Konuların kelimeler üzerinde bir olasılık dağılımına, dokümanların da konular üzerinde bir olasılık dağılımına sahip olduğu fikrine dayanmaktadır. Konu modelleme, kelimelerin olasılık dağılımları üzerinden rastgele birleşerek dokümanların oluşumunu sağlar (Steyvers ve Griffiths, 2007).

LDA denetimsiz öğrenme algoritmasıdır, bu sebeple önceden tanımlanmış kelimelere ihtiyacı yoktur. Kelimeleri bir araya getirerek işleme alır. Bu işlem sırasında kelimelerin cümle içindeki konuları önemsizdir, ancak kelimelerin birlikte bulunma durumları dikkate alınır. (Kaya ve Gülbandır, 2022). LDA'nın grafiksel temsilinde plate notasyonundan yararlanılmaktadır. Gözlemlenen verinin rastgele değişkenlerinin yönlü kenarlar üzerinden yayılması, Plate notasyonu ile açıklanır (Ekinci ve Omurca, 2017).

LDA'ya ait plate notasyonu Şekil 1'de verilmiştir. Rastgele değişkenler düğümlerle belirtilir. Düğümler arasındaki olası bağlantılar, kenarlar kullanılarak gösterilir (Güven, Diri ve Çakaloğlu, 2020). Konu modellemedeki temel amaç; dokümanın içerdiği kelimelere dayanarak ait olduğu konuları ortaya çıkarmaktır.

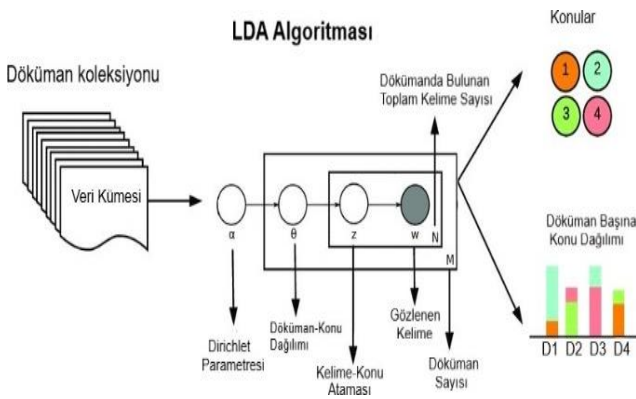
Bu aşamada yalnızca dokümanlar gözlemlenebilir durumdadır. Kelimelerin konuya atanmasıyla ilgili olan konular ve bu konuların dokümandaki ve kelimelerin konulardaki dağılımları gizli olarak kalmaktadır. Şekil 1'de, gözlemlenen değişkenler gri renkle temsil edilirken gözlenemeyenler beyaz renk ile temsil edilmiştir. (Altıntaş ve diğ., 2021).



Şekil 1. LDA İçin Grafikselsel Model

Burada M Toplam doküman sayısı, K Gizli konuların sayısı,  $\alpha$  ve  $\beta$  Dirichlet parametreleridir.  $\theta$  konuların dokümanda bulunma olasılığını,  $\varphi$  ise kelimelerin konulardaki dağılımını göstermektedir. Z her bir kelime için atanan konulardır (Ekinci ve Omurca, 2017). LDA algoritması bir kelimenin bir konuya ait olduğunu ve bir dokümanın en az bir konuya ait olduğunu varsayar. Doküman birden çok konuya da ait olabilir. Bu çokluk nedeni ile Dirichlet dağıtımına ihtiyaç duyarız, bu noktada  $\alpha$  Dirichlet parametresi kullanılır.

LDA algoritmasının verimli çalışabilmesi için  $\alpha$  değeri özenle seçilmelidir. Yüksek  $\alpha$  değeri fazla sayıda başlık bulabilir ve konuların dağılımının homojenliğini sağlar. Düşük  $\alpha$  değeri ise daha az alt başlık bulur ve çıkarım sürecinin bazı konularda olasılık dağılımını yapmasını engeller. Şekil 2'de LDA algoritması verilmiştir.



Şekil 2. LDA Algoritması

Kelimeler konulara atanırken ilk olarak mevcut dokümanın konularla ilişkisi hesaplanır. Ardından her kelimenin konularla olan ilişkisi hesaplanır. Bu hesaplama sonucunda kelimenin belirli bir konuyla ilişkili ağırlığı hakkında bilgi elde edilir (Güven ve diğ., 2018).

LDA'da K konu sayısı tutarlılık değeri ile belirlenir. Tutarlılık değeri, kelimeler arasındaki benzerliği ölçer. Sistemi uygun konu sayısı ile modellemek oldukça önemlidir. Bu nedenle, belirli konu sayıları için hesaplanan tutarlılık değerleri arasından en yüksek değere sahip olan K değeri, modelin konu sayısı olarak seçilmektedir (Güven ve diğ., 2018).

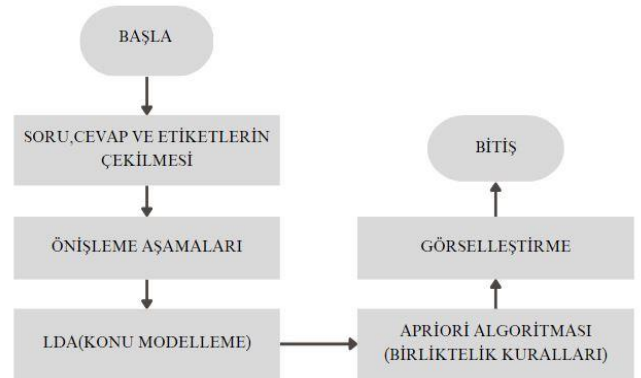
#### 4. Araştırma Soruları

Bu çalışmanın amacı, StackOverflow da "Big Data" konusunda yayınlanan soru ve cevaplardan konu modelleme tekniği olan LDA ile analiz yapılarak kullanıcıların konuştukları konuların belirlenmesi, etiketler üzerinde yapılacak birliktelik analizi ile de ilişkilerin ortaya çıkarılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda cevap aranan sorular ise şöyledir;

1. StackOverflow'da Big Data hakkında konuşulan konular nelerdir?
2. Birlikte kullanılan etiketlerin ilişkileri ve dağılımları ne yöndedir?
3. En sık kullanılan etiketler nelerdir?
4. Big Data ile ilgili gönderilerin betimsel karakteristikleri nedir?

#### 5. Yöntem

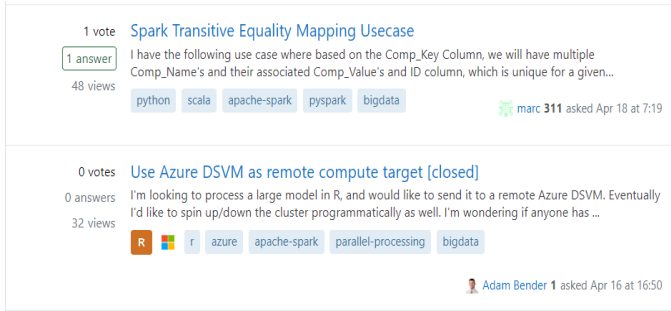
Bu çalışmada StackOverflow soru cevap platformu üzerinde 2023 yılına kadar paylaşılmış olan ve "Big Data" ile ilgili toplamda 7598 veri çekilmiştir. Soru ve cevapların analizi LDA algoritması, etiketlerin birliktelik analizi ise Apriori algoritması kullanılarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında izlenen yöntem Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Çalışma Kapsamında İzlenen Yol

### 5.1. Soru, Cevap ve Etiketlerin Çekilmesi

StackOverflow üzerinde 2023 yılına kadar paylaşılmış olan tartışmaları Python'ın BeautifulSoup ve Request kütüphaneleri kullanılarak çekilmiştir. Çekilen soru, cevap ve etiketlerin tamamı İngilizce'dir. Tartışmalar çekilirken yalnızca tartışmaların içerikleri değil tartışmaların görüntülenme sayısı, oylanma sayısı ve tarih de çekilmiştir. Toplamda 7598 veri çekilmiştir ve bu veriler CSV formatında saklanmıştır. Şekil 4'te Stackoverflow'dan bir tartışma görseli verilmiştir.



Şekil 4. Örnek Tartışma Görseli

### 5.2. Ön İşleme Aşamaları

Ön işleme aşamaları 4 adımdan oluşmaktadır. İlk aşama istenmeyen içeriklerin silinmesi aşamasıdır.

Bu aşamada noktalama işaretleri, sayılar, web bağlantıları ve anlamsız karakterler çıkarılmıştır. Büyük harfler, küçük harflere dönüştürülmüştür. İkinci aşama ise etkisiz kelimelerin çıkartılmasıdır. Yorum içerisinde tekrar eden kelimeler ve anlamsal ifadeyi etkilemeyen kelimeler çıkarılmıştır. Üçüncü aşama dizge parçalama aşamasıdır. Dokümandaki metinsel veriler kelime, cümle, sembol veya belirteç adı verilen anlamlı öğelere ayrılır. Dördüncü aşama kök bulma aşamasıdır. Bu aşama kelime köklerinin ayrıştırılmasının ve kelime indirgenmesinin yapıldığı aşamadır. Bu işlem yapılırken Lemmatization yöntemi kullanılmıştır. Sebebi ise bunu Stemming'den farklı olarak kelime anlamının korunmasının sağlamasıdır.

#### 5.2.1. İstenmeyen İçeriklerin Silinmesi

Bu aşamada, konu modelleme algoritmaları büyük-küçük harfe duyarlı olduğu için dokümandaki tüm kelimelerin küçük harfe dönüşümü sağlanmıştır. Tartışmalar içerisinde anlam ifade etmeyen noktalama işaretleri, anlamsız karakterler, web bağlantıları ve sayıların çıkarılmıştır.

#### 5.2.2. Etkisiz Kelimelerin Çıkarılması

Tartışmaların anlamsal ifadesini etkilemeyen etkisiz kelimeler dokümandan çıkartılmıştır. Bu sayede modelin gereksiz yorulması, konuların birbirine benzemesi engellenmiş ve daha iyi bir performansın elde edilmesi sağlanmıştır. Bu işlem için NLTK Kütüphanesi kullanılmıştır.

### 5.2.3. Dizge Parçalama

Bir LDA modelinin oluşturulup çalıştırılması için dokümandaki verilerin vektörlere dönüştürülmesi gerekir. Doküman parçalama aşamasında daha öncesinde büyük harflerin küçük harflere dönüştürülüp, noktalama işaretleri ve sayıların çıkarılıp, durgun kelimelerin atıldığı tartışmalar kendi içerisindeki kelimelerden oluşan bir vektöre dönüştürülmüştür.

### 5.2.4. Kök Bulma

Kök Bulma aşamasında kelimelere gelen eklerin, kelimenin anlamını değiştirmedığı durumlarda oluşturulacak olan LDA modeli üzerinde olumsuz bir etki yaratmaması için kelimelerin köklerinden ayrılarak düzeltilmesi işlemi yapılmıştır.

Alfa parametresi belge-konu yoğunluğunu, eta ise konu-kelime yoğunluğunu temsil eder. Alfa değeri ile konu sayısı orantılıdır. Alfa değeri ne kadar yüksek olursa, belgeler daha fazla konudan oluşur. Öte yandan, beta değeri yüksek olan konular, derlemde çok sayıda kelimedenden oluşur ve beta değeri düşük olduğunda, birkaç kelimedenden oluşurlar.

Bu çalışmada Alpha ve eta parametreleri sırasıyla 0.1, 0.01, 0.5, 0.05, symmetric, symmetric değerlerinin kombinasyonları olarak seçilerek çalıştırılmıştır. Bu parametrelerden en uygun olanın Alpha parametresi 'symmetric' ve eta parametresi 'symmetric' olduğuna karar verilmiştir.

### 5.3. LDA ile Konu Modelleme

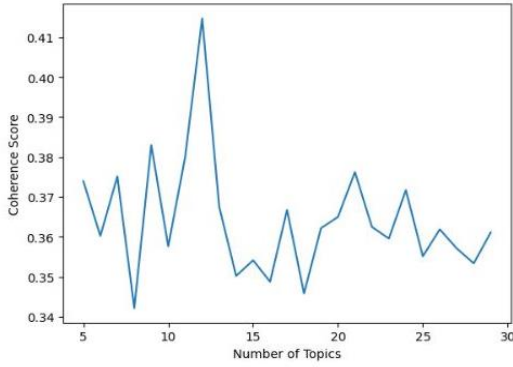
LDA modelleri oluşturulurken gensim kütüphanesi altında "models" modülü kullanılmıştır. LDA modeli oluşturulurken bazı önemli parametreler bulunmaktadır. Corpus parametresi ön işleme aşamalarından sonra oluşan, vektör kullanılarak oluşturulan bir sözlüktür. num\_topics parametresi modelin kaç tane konuya sahip olacağını belirlemek için kullanılır. id2word parametresi sözlükteki eşsiz tüm kelimelerin tutulduğu bir yapıdır. Corpus ve id2word parametreleri soru, cevap ve başlıklara göre şekillenmektedir. Passes parametresi kullanılan corpusun üzerinden kaç defa geçilmesi gerektiğini belirlemektedir. Çok sayıda doküman varsa passes parametresinin yüksek seçilmesi model oluşturma aşamasının çok uzun sürmesine neden olacaktır. Passes parametresi bu çalışma için 25 olarak belirlenmiştir.

#### 5.3.1. Tutarlılık ve Karmaşıklık Değerleri

Uygun tutarlılık değerine sahip modeli bulmak için 5 ve 30 konu sayısı arasında modeller oluşturulup tutarlılık değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5'teki soru cevap başlıklar ile oluşturulmuş 30 konunun tutarlılık değeri verilmektedir.



Şekil 5. Veriler İçin Modellerin Tutarlılık Değerler

Diğer modeller de incelendikten sonra anahtar kelimelerin ağırlıkları ve konular arasındaki dağılımı göz önünde bulundurduğunda en uygun modelin 12 konu sayılı model olduğu kanısına varılmıştır.

#### 5.4. Birliktelik Analizi Kurallarının Çıkarılması

Etiketler üzerinde yapılan birliktelik analizi ile ilişkiler ortaya çıkarılmıştır. Birliktelik kurallarının çıkarılmasında Apriori algoritması kullanılmıştır. Şekil 6'da birliktelik kurallarının uygulanması ile ortaya çıkan sonuçlar verilmiştir. Şekil 6'daki sonuçlara verilere göre;

Antecedent support; birinci etiketin tek başına görülme olasılığını ifade eder.

Consequent support; ikinci etiketin tek başına görülme olasılığını ifade eder.

Support; etiketlerin birlikte görülme olasılığını ifade eder.

Confidence; ilk etiket kullanıldığında ikinci etiketin kullanılma olasılığını ifade eder.

Lift; ilk etiket kullanıldığında ikinci etiketin kullanılma olasılığının kaç kat arttığını ifade eder.

#### 5.4.1. Analiz Sonuçları

18.satır için: Kullanılan etiketlerde hadoop'un tek başına görülme olasılığı %25 (antecedent support), bigdata'nın tek başına görülme olasılığı %100. (consequent support ) 100 sorunun 25'inde mutlaka hadoop ve bigdata etiketleri beraber kullanılmıştır. (support)

79.satır için: Kullanılan etiketlerde hive'in tek başına görülme olasılığı %9, hadoop ve bigdata'nın tek başına görülme olasılığı %25. 100 sorunun 6'sında hive, bigdata ve hadoop etiketleri beraber kullanılmıştır. (support) Hive etiketini kullanan biri %60 gibi bir ihtimalle hadoop ve bigdata etiketini kullanmaktadır (confidence) ve bu etiketlerin kullanım oranını 2.39 artırmaktadır. (lift)

	antecedents	consequents	antecedent support	consequent support	support	confidence	lift	leverage	conviction	zhangs_metric
7	(apache-spark)	(bigdata)	0.140273	1.00000	0.140273	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
14	(database)	(bigdata)	0.047326	1.00000	0.047326	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
18	(hadoop)	(bigdata)	0.256030	1.00000	0.256030	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
22	(hdfs)	(bigdata)	0.040509	1.00000	0.040509	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
23	(hive)	(bigdata)	0.097798	1.00000	0.097798	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
25	(java)	(bigdata)	0.083901	1.00000	0.083901	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
28	(mapreduce)	(bigdata)	0.058731	1.00000	0.058731	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
30	(mysql)	(bigdata)	0.041689	1.00000	0.041689	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
37	(pyspark)	(bigdata)	0.041951	1.00000	0.041951	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
38	(python)	(bigdata)	0.133325	1.00000	0.133325	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
40	(r)	(bigdata)	0.078133	1.00000	0.078133	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
41	(scala)	(bigdata)	0.044966	1.00000	0.044966	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
42	(sql)	(bigdata)	0.050996	1.00000	0.050996	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
48	(hive)	(hadoop)	0.097798	0.25603	0.060042	0.613941	2.397922	0.035003	1.927088	0.646166
49	(mapreduce)	(hadoop)	0.058731	0.25603	0.045621	0.776786	3.033959	0.030584	3.332984	0.712227
77	(hive, hadoop)	(bigdata)	0.060042	1.00000	0.060042	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
78	(hive, bigdata)	(hadoop)	0.097798	0.25603	0.060042	0.613941	2.397922	0.035003	1.927088	0.646166
79	(hive)	(bigdata, hadoop)	0.097798	0.25603	0.060042	0.613941	2.397922	0.035003	1.927088	0.646166
82	(bigdata, mapreduce)	(hadoop)	0.058731	0.25603	0.045621	0.776786	3.033959	0.030584	3.332984	0.712227
83	(hadoop, mapreduce)	(bigdata)	0.045621	1.00000	0.045621	1.000000	1.000000	0.000000	inf	0.000000
84	(mapreduce)	(bigdata, hadoop)	0.058731	0.25603	0.045621	0.776786	3.033959	0.030584	3.332984	0.712227

Şekil 6. Apriori Algoritması Sonrasında Elde Edilen Sonuçlar

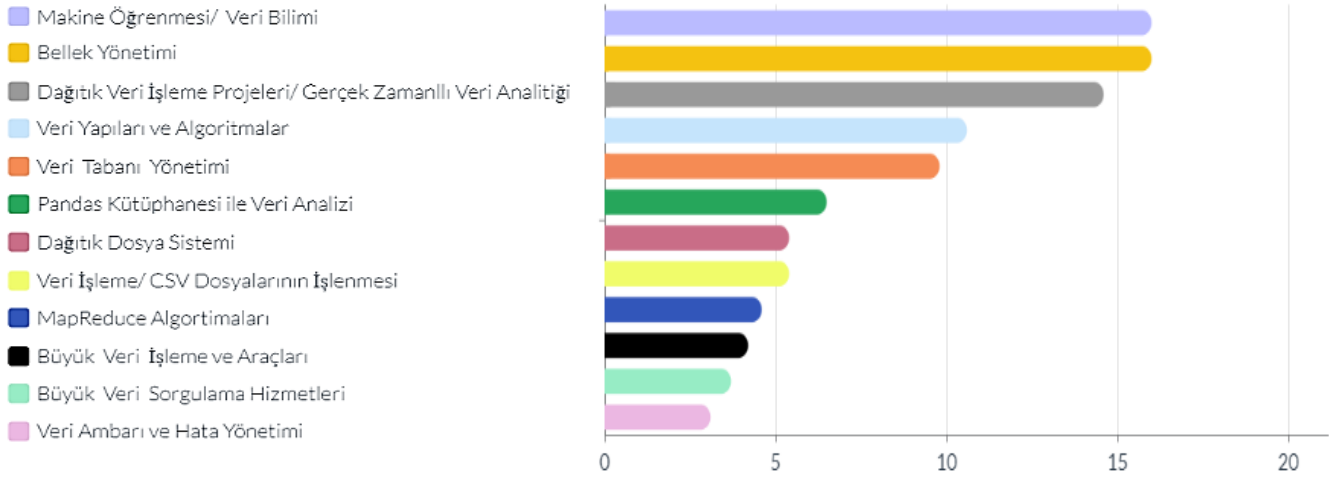
## 6. Bulgular

Bu projede StackOverflow platformundan 2023 yılına kadar toplanan toplamda 7598 adet çekilen verinin soru, cevap ve başlıkları ile konu modellemesi gerçekleştirilmiştir. Veriler ön işleme aşamalarına tabi tutulmuş ve ardından uygun bir LDA modeli geliştirilerek konu ataması yapılmıştır.

Soru cevap platformunda oluşturulan modele göre belirlenen ideal 12 konudan en fazla konuşulan konuların %16'lık oran ile makine öğrenmesi/veri bilimi ve bellek yönetimi olduğu belirlenmiştir. Belirlenen konu sayısı içerisinde en az konuşulan konunun %3.6 ile veri ambarı ve hata yönetimi olduğu ortaya koyulmuştur. Ayrıntılı sonuçlar aşağıdaki Tablo 1' de ve Şekil 7'de yer almaktadır.

Tablo 1. Konu Dağılımları ve Oranları

Konu	Kelimeler ve Ağırlıkları	Etiket	Oran
0	0.030*"data" + 0.012*"model" + 0.012*"dataset" + 0.011*"use" + 0.009*"train" + 0.009*"algorithm" + 0.008*"cluster" + 0.007*"memory" + '0.006*"problem" + 0.005*"matrix" + 0.005*"r" + 0.005*"variable" + 0.005*"learn" + 0.004*"machine" + 0.004*"test"	Makine Öğrenmesi/Veri Bilimi	%16
1	0.013*"data" + 0.012*"use" + 0.012*"gb" + 0.012*"query" + 0.011*"memory" + 0.009*"index" + 0.008*"size" + 0.007*"user" + 0.007*"ram" + 0.007*"document" + 0.006*"run" + 0.006*"error"+ 0.006*"file" + 0.006*"graph" + 0.006*"try"	Bellek Yönetimi	%16
2	0.021*"stream" + 0.021*"spark" + 0.017*"kafka" + 0.016*"use" + 0.013*"message" + 0.013*"apache" + 0.011*"api" + 0.010*"process" + 0.010*"data" + 0.009*"event" + 0.007*"window" + 0.007*"storm" + 0.006*"flume" + 0.006*"topic" + 0.006*"application"	Dağıtık Veri İşleme Projeleri/Gerçek Zamanlı Veri Analitiği	%14.6
3	0.014*"array" + 0.014*"data" + 0.013*"use" + 0.011*"memory" + 0.011*"number" + 0.010*"list" + 0.010*"function" + 0.009*"time" + 0.007*"object" + 0.007*"value" + 0.007*"python" + 0.007*"element" + 0.006*"problem" + 0.006*"string" + 0.005*"size"	Veri Yapıları ve Algoritmalar	%10.6
4	0.035*"data" + 0.030*"table" + 0.016*"query" + 0.013*"row" + 0.011*"partition" + 0.010*"index" + 0.010*"column" + 0.009*"use" + 0.009*"time" + 0.009*"record" + 0.009*"database" + 0.007*"key" + 0.007*"user" + 0.006*"create" + 0.006*"store"	Veri Tabanı Yönetimi	%9.8
5	0.024*"column" + 0.020*"dataframe" + 0.019*"row" + 0.015*"data" + 0.014*"use" + 0.010*"panda" + 0.009*"time" + 0.008*"function" + 0.008*"follow" + 0.008*"id" + 0.008*"try" + 0.007*"group" + 0.007*"dataset" + 0.006*"create" + 0.006*"result"	Pandas Kütüphanesi ile Veri Analizi	%6.5
6	0.024*"file" + 0.021*"hadoop" + 0.018*"run" + 0.017*"cluster" + 0.016*"hdfs" + 0.013*"node" + 0.013*"job" + 0.012*"use" + 0.010*"data" + 0.009*"spark" + 0.009*"nod" + 0.007*"task" + 0.006*"error" + 0.006*"directory" + 0.006*"try"	Dağıtık Dosya Sistemi	%5.4
7	0.069*"file" + 0.023*"data" + 0.019*"read" + 0.016*"use" + 0.012*"csv" + 0.011*"column" + 0.008*"memory" + 0.007*"process" + 0.007*"gb" + 0.006*"format" + 0.006*"row" + 0.006*"line" + 0.006*"spark" + 0.006*"r" + 0.006*"try"	Veri İşleme/CSV Dosyalarının İşlenmesi	%5.4
8	0.023*"output" + 0.021*"mapper" + 0.020*"reducer" + 0.019*"map" + 0.017*"key" + 0.015*"mapreduce" + 0.014*"reduce" + 0.012*"input" + 0.012*"sort" + 0.012*"use" + 0.011*"hive" + 0.011*"bucket" + 0.010*"job" + '0.008*"hadoop" + 0.007*"number"	MapReduce Algoritmaları	%4.6
9	0.066*"data" + 0.014*"database" + 0.011*"use" + 0.011*"store" + 0.010*"big" + 0.010*"table" + 0.010*"query" + 0.007*"hadoop" + 0.007*"process" + 0.006*"time" + 0.006*"sql" + 0.005*"question" + 0.005*"system" + '0.005*"tool" + 0.005*"storage"	Büyük Veri İşleme ve Araçları	%4.2
10	0.035*"table" + 0.029*"query" + 0.021*"column" + 0.016*"join" + 0.012*"row" + 0.010*"result" + 0.009*"use" + 0.009*"index" + 0.008*"bigquery" + 0.008*"id" + 0.006*"document" + 0.006*"hive" + 0.006*"delete" + 0.006*"sql" + 0.006*"create"	Büyük Veri Sorgulama Hizmetleri	%3.7
11	0.029*"hive" + 0.024*"error" + 0.017*"spark" + 0.014*"table" + 0.014*"use" + 0.014*"log" + 0.011*"create" + 0.009*"run" + 0.008*"try" + 0.007*"data" + 0.007*"issue" + 0.006*"follow" + 0.006*"version" + 0.006*"get" + 0.006*"exception"	Veri Ambarı ve Hata Yönetimi	%3.1



Şekil 7. Konuların Başlıklara Olan Genel Bar Dağılım Grafiği

Bu araştırma bağlamında, etiketlerin analizine dayanarak, StackOverflow'da 2009-2022 yılları arasındaki gönderilerden elde edilen verilere ilişkin ayrıntılı bilgiler Tablo 2'de mevcuttur.

Tabloda görüldüğü gibi StackOverflow üzerinde 2009-2022 yılları arasındaki gönderilerde toplam 30329 etiket kullanılmış olup bu etiketler içerisindeki tekil (tekrar etmeyen) etiket sayısı 2282 olarak hesaplanmıştır.

StackOverflow'da en çok kullanılan ilk 20 etiket, toplam etiket sayısının yaklaşık %57.8'ini oluştururken, en çok kullanılan ilk 50 etiket, toplam etiket sayısının yaklaşık %67.3'ünü oluşturmaktadır. Big Data etiketi ile kullanılan etiketlerden en çok kullanılanların sırasıyla Hadoop, Apache-spark ve Python olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. 2009-2022 Yıllarına Ait "Big Data" Etiketlerine Dair Veriler

Etiket Kategorileri	Elde Edilen Veriler
Farklı (tekil) etiket sayısı	2282
Toplam etiket sayısı	30329
Yıllık ortalama etiket sayısı	2166
En fazla kullanılan ilk 20 etiketin toplam sayısı	17500
En fazla kullanılan ilk 20 etiketin toplam etiketlerin sayısına oranı	57.80
En fazla kullanılan ilk 50 etiketin toplam sayısı	20426
En çok kullanılan ilk 50 etiketin toplam etiketlerin sayısına oranı	67.35
Sadece 1 kez kullanılan farklı (tekil) etiket sayısı	1096
En fazla 5 kez kullanılan farklı (tekil) etiket sayısı	1874
En fazla kullanılan ilk üç etiket (Sıralı- Big Data hariç)	Hadoop, Apache-spark, Python

Tablo 3 ve Tablo 4'te, yıllara göre toplam etiket sayısı ve farklı (tekil) etiket sayılarının dağılımları sunulmaktadır. Tabloda belirtilen sonuçlara göre 2022 yılı sonunda toplam etiket sayısı 30329, tekil etiket sayısı ise 5731 olmuştur.

Tablo 3. Yıllara Göre Tekil Etiket Sayıları ve Toplamı

Yıllar	N
2009	14
2010	15
2011	81
2012	214
2013	431
2014	511
2015	644
2016	731
2017	716
2018	637
2019	552
2020	298
2021	419
2022	468
Toplam	5731

Tablo 4. Yıllara Göre Toplam Etiket Sayıları ve Toplamı

Yıllar	N
2009	22
2010	24
2011	165
2012	678
2013	2008
2014	2821
2015	4023
2016	5026
2017	4355
2018	3379
2019	2872
2020	1047
2021	1718
2022	2191
Toplam	30329

Tablo 5'te, StackOverflow üzerinde 2009-2022 arasındaki gönderilerde, yıllara göre en fazla kullanılan ilk 10 etiketin dağılımı ve bu etiketlerin toplam sayıları sıralanmıştır. Big data etiketi üzerinde işlem yapıldığından dolayı 7594 etiket ile en çok kullanılmıştır. İkinci sırada ise 1912 etiket ile Hadoop yer almaktadır.

Tablo 5. En Fazla Kullanılan İlk 10 Etiket Dair Veriler

Etiketler	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Toplam
Big data	4	6	44	177	526	721	1027	1247	1096	846	718	259	417	506	7994
Hadoop	-	1	3	47	150	238	406	442	279	171	122	16	50	17	1942
Apache- spark	-	-	-	-	2	42	129	249	160	155	130	26	67	115	1075
Python	-	1	4	10	45	65	81	132	137	121	131	78	93	129	1027
Hive	-	-	-	10	33	51	109	133	123	86	94	18	48	37	742
Java	-	-	6	16	57	86	97	126	93	60	56	6	17	20	640
R	-	2	5	26	68	64	79	62	68	56	56	29	24	50	589
Mapreduce	-	-	1	18	47	61	108	76	59	39	18	4	11	5	447
Sql	-	1	3	8	30	35	35	40	31	37	53	15	42	44	374
Database	2	1	7	7	39	50	39	60	49	37	30	14	11	20	366

## 7. Tartışma

Bu çalışmada, StackOverflow platformundan elde edilen 7598 veri seti üzerinden gerçekleştirilen konu modellemesi; soru, cevap ve başlıkların analiziyle şekillenmiştir. Literatürde çeşitli konu modelleme teknikleri mevcut olmakla birlikte, üretken bir model olması ve konu seçiminde deterministik sonuçlar üretmesi sebebiyle LDA yöntemi seçilmiştir (Ozyurt ve Ozyurt, 2023). Bir sorunun başlığının, soru metninin ve soru cevabının ayrı ayrı analiz edilmesi yerine bütünsel bir metin parçası düzeyinde analiz edilmesi gerektiğinin daha sağlıklı sonuç vereceği düşünülüp her bir soruya ait kelimeler tek bir metin olarak ele alınmıştır. Ayrı ayrı bir veri kümesi olarak kullanma kullanıcıların büyük veri hakkındaki ilgi alanlarını ve zorluklarını incelemek için yeterli temsili bir set olmayabilir. LDA tabanlı analiz sonucunda her konunun 15 açıklayıcı anahtar kelimeyle tanımlandığı 12 konu belirlenmiştir. Konu başlıkları, konuların anahtar kelimelerinin ortak temalarına dayalı olarak manuel olarak belirlenmiştir. Belirlenen 12 konu arasında, en çok konuşulan konuların %16'lık oranla makine öğrenmesi/veri bilimi ve bellek yönetimi olduğu görülmüştür.

Yazılım geliştirme ve teknoloji alanındaki trendler, konuşulan konuların öncelik sıralamasını etkiler. Kullanıcılar, geliştiriciler ve endüstriler arasındaki ihtiyaç ve talep değişimleri, konuşulan konuların öncelik sıralamasında etkili olabilir. Özellikle bir konunun çözülmesi veya bir başka konunun öne çıkması, bu değişimleri tetikleyebilir.

Bagherzadeh ve Khatchadourian (2019), çalışmalarında büyük veri popülerliğine bakıldığında; elde ettikleri analiz sonucu en çok konuşulan konular arasında "Makine Öğrenmesi" alt sıralarda iken 4 yıllık değişimle günümüzde ilk sırada yerini almıştır. Bunun nedeni algoritmaların ve yazılım araçlarının geliştirilmesiyle yakından ilişkilidir. Yeni ve daha etkili makine öğrenimi modellerinin ortaya çıkması, bu alandaki ilgiyi artırmıştır. Büyük veri setlerinin artması, makine öğrenimi algoritmalarının daha etkili ve doğru sonuçlar üretmesine olanak tanır. Daha fazla veri, öğrenme modellerinin daha iyi eğitilmesini sağlar. Makine öğrenimi modelleri genellikle büyük veri setlerinde eğitildiği için, büyük veri kaynaklarının artması ve işlem gücündeki artış, daha karmaşık modellerin oluşturulmasına ve kullanılmasına olanak tanımıştır.

Çalışmamızda en fazla kullanılan ilk 10 etikete dair verilere bakıldığında Hadoop etiketinin yıllara göre dağılımında azalışın nedeni olarak, Hadoop'un yerini daha spesifik ve özel amaçlı çözümlerin aldığı düşünülmektedir. Hadoop MapReduce modeli, bazı durumlarda performans ve işlem hızı açısından sınırlamalara sahiptir. Apache Spark gibi daha yüksek seviyeli ve kullanımı kolay çözümler, geliştiricilerin daha hızlı ve etkili bir şekilde büyük veri işleme yapmalarını sağlayabilir. Büyük veri işleme alanındaki

odak, sadece veri depolama ve işlemeden ziyade makine öğrenimi ve yapay zeka konularına da kaymıştır. Bu nedenle Hadoop yerine alternatif çözümlere yönelme durumu söz konusudur.

StackOverflow üzerindeki etiket analizi ve büyük veri çalışmalarının detaylı incelenmesiyle elde edilen sonuçlar, "Big Data"nın betimsel analizini ortaya koymuştur. Farklı 2282 etiketten en çok kullanılan ilk 50 etiket, toplam etiket sayısının yaklaşık %67.3'ünü oluşturmaktadır. Bu kapsamda, ilk 50 etiket üzerinden elde edilecek sonuçlar ve yapılan tartışmaların, genel veri setini temsil ettiği düşünülebilir.

## 8. Sonuçlar

Yürütülen çalışmada LDA yöntemi kullanılarak StackOverflow platformu üzerinde "Big Data" etiketli soruların ve bu soruların cevaplarının anlamsal analizi ile büyük verinin karakteristiği ortaya çıkarılmış ve büyük veri hakkında en çok konuşulan konuların %16'lık bir oran ile makine öğrenmesi/veri bilimi ve bellek yönetimi olduğu sonucuna varılmıştır. StackOverflow gönderilerindeki "big data" ile ilgili etiketler için bir veri seti oluşturulmuş ve bu etiketlerin birliktelik analizi yapılmıştır. Bu aşamanın asıl amacı Apriori algoritması kullanarak görülemeyen ilişkileri ortaya çıkarmaktır. Örneğin kullanılan etiketlerde hadoop'un %25 olasılıkla tek başına kullanıldığı, bigdata'nın %100 olasılıkla tek başına kullanıldığı görülmektedir. 100 sorunun 25'inde mutlaka hadoop ve bigdata etiketleri beraber kullanılmış veya etiketlerde hive'in tek başına görülme olasılığı %9, hadoop ve bigdata'nın tek başına görülme olasılığı %25. 100 sorunun 6'sında hive, bigdata ve hadoop etiketleri beraber kullanılmıştır. Hive etiketini kullanan biri %60 gibi bir ihtimalle hadoop ve bigdata etiketini kullanmaktadır ve bu etiketlerin kullanım oranını 2.39 artırmaktadır. Elde edilen bütün veriler sonucunda da "Big Data"nın betimsel karakteristikleri ortaya konulmuştur.

Çalışma bir bütün olarak ele alındığında, son zamanlarda bilgisayar teknolojileri içerisinde önemli bir yer tutan "Big Data" ile ilgili tartışmaların analizi, alanda çalışanlara, eğitim görenlere ve bu alana uzmanlaşmak isteyenler başta olmak üzere, birçok paydaşa önemli katkılar sunması beklenmektedir. Çalışmanın veri bilimi ve analizi başta olmak üzere, alandaki teknolojiler, uygulamalar ve programlama dilleri gibi farklı kategorilerin gelişimi ve değişimini de ortaya koyması bu alandaki eğilimlerin belirlenmesi açısından önemlidir. Öte yandan çalışmanın sonuçlarının bu alanda ileride yapılacak çalışmalara temel oluşturması bakımından değerli olduğu düşünülmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma 2023 yılında TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri Destek Programı tarafından 1919B012221064 numaralı proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## Araştırmacıların Katkısı

Çalışmada Ayça YURTSEVEN veri setinin oluşturulması, literatür taraması, veri analizi ve sonuçların elde edilmesi ve makalenin yazımı konularında katkı sağlamıştır. Adile GENÇ veri setinin oluşturulması, verilerin çekilmesi, sonuçların elde edilmesi ve makale yazımı konularında katkı sağlamıştır. Hacer ÖZYURT, kavramsal çerçeve, yöntem ve veri analizi konularında katkı sağlamıştır. Özcan ÖZYURT araştırmanın organize edilmesi, veri analizi ve son düzenleme konularına katkı sağlamıştır.

## Çıkar Çatışması

Hazırlanan makalede araştırma ve yayın etiğine uyulmuş olup yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Kaynaklar

Alan, M. A. & Yeşilyurt, C. (2019). Birliktelik Kuralları Madenciliği İle Yatan Hasta Profiline Çıkarılması. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23(4), 1917-1926.

Altınbaş, V., Albayrak, M. & Topal, K. (2021). Topic modeling with latent dirichlet allocation for cancer disease posts, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(4), 2183-2196.

Altunışık, R. (2015). Büyük veri: fırsatlar kaynağı mı yoksa yeni sorunlar yumağı mı?. *Yıldız Social Science Review*, 1(1), 45-76.

Atalı, L. (2018). Sporda büyük veri kullanımının incelenmesi" bigdata. 16. Spor Bilimleri Kongresi Tam Metin Bildiri Kitabı, S: 1997-2000, Antalya.

Bagherzadeh, M. & Raffi, K. (2019). "Going big: a large-scale study on what big data developers ask." Proceedings of the 2019 27th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering, Tallinn Estonia.

Bakir, C., Hakkoymaz, V, Diri, B. & Güçlü, M. (2020). Dağıtık veritabanlarında saldırı önleme metotları. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 425-441.

Doğan, B., Erol, B. & Buldu, A. (2014). Sigortacılık sektöründe müşteri ilişkileri yönetimi için birliktelik kuralı kullanılması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 26(3), 105-114. doi: <https://doi.org/10.7240/mufbed.56489>

Ekinci, E. & Omurca, S. İ. (2017). Ürün özelliklerinin konu modelleme yöntemi ile çıkartılması. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 9(1), 51-58.

Eravcı, D. B. (2010). Kurumların dijital dönüşümü: büyük veri . *Çalışma İlişkileri Dergisi*, 11(1), 90-112.

Favaretto, M., De Clercq, E., Schneble, C. O., & Elger, B. S. (2020). What is your definition of Big Data? Researchers' understanding of the phenomenon of the decade. *PLoS one*, 15(2), e0228987.

Gürcan, F. & Özyurt, Ö. (2021). Stackoverflow gönderilerinde tartışılan trend konuların kelime frekans analizi ile belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 357-368. doi: <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.811123>

Güven, Z. A. , Diri, B. & Çakaloğlu, T. (2018). Classification of turkish tweet emotions by n-stage latent dirichlet allocation, 2018 Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings Meeting (EBBT). doi: <https://doi.org/10.21541/apjes.459447>

Güven, Z. A. , Diri, B. & Çakaloğlu, T. (2020).

Comparison of n-stage Latent Dirichlet Allocation versus other topic modeling methods for emotion analysis. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(4), 2135-2146. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.556104>

Hoş, S. (2020). Veri analizi nedir, büyük veri analizi nasıl yapılır? Erişim adresi: <http://www.hosting.com.tr/blog/buyuk-veri-analizi/>

Jelodar, H., Wang, Y., Yuan, C., Feng, X., Jiang, X., Li, Y. & Zhao, L. (2019). Latent dirichlet allocation (LDA) and topic modeling: models, applications, a survey. Latent dirichlet allocation (LDA) and topic modeling: models, applications, a survey. *Multimedia Tools and Applications*, 78(11), 15169-15211. doi: <https://dl.acm.org/doi/10.1007/s11042-018-6894-4>

Kaya, A. & Gülbandır, E. (2022). Konu modelleme yöntemlerinin karşılaştırılması. *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi*, 3(2), 46-53. doi: <https://doi.org/10.53608/estudambilisim.1097978>

Ma, Y., Zhou, Q., Tag, B., Sarsenbayeva, Z., Knibbe, J. & Goncalves, J. (2023). "Hello, fellow villager!": perceptions and impact of displaying users' locations on weibo. In IFIP Conference on Human-Computer Interaction (pp. 511-532). doi: [https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/978-3-031-42286-7\\_29](https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/978-3-031-42286-7_29)

Ouni, A., Saidani, I., Alomar, E. & Mkaouer, M. W. (2023). An empirical study on continuous integration trends, topics and challenges in stack overflow. In Proceedings of the 27th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (pp. 141-151). doi: <https://doi.org/10.1145/3593434.3593485>

Özyurt, O. & Özyurt, H. (2023). A large-scale study based on topic modeling to determine the research interests and trends on computational thinking. *Education and Information Technologies*, 28(3), 3557-3579. doi: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/s10639-022-11325-9>

Rosen, C. & Shihab, E. (2016). What are mobile developers asking about? a large scale study using stack overflow. *Empirical Software Engineering*, 21(3), 1192-1223. doi: <https://dl.acm.org/doi/10.1007/s10664-015-9379-3>

Stackoverflow (t.y.). Who We Are. Erişim adresi: <https://stackoverflow.co/>

Steyvers, M. & Griffiths, T. (2007). Probabilistic topic models. *Handbook of latent semantic analysis*, 427(7), 424-440.

Syam, G., Lal, S. & Chen, T. (2023). Empirical Study of the Evolution of Python Questions on Stack Overflow. *e-Informatica Software Engineering Journal*, 17(1).

Yang, X. L., Lo, D., Xia, X., Wan, Z. Y. & Sun, J. L. (2016). What security questions do developers ask? a large-scale study of stack overflow posts. *Journal of Computer Science and Technology*, 31, 910-924. doi: <https://doi.org/10.1007/s11390-016-1672-0>

Zhang, P. (2019). What topics do developers concern? An analysis of java related posts on stackoverflow. In 2019 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Big Data (ICAIBD) (pp. 362-368). IEEE. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.702949>