



ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ

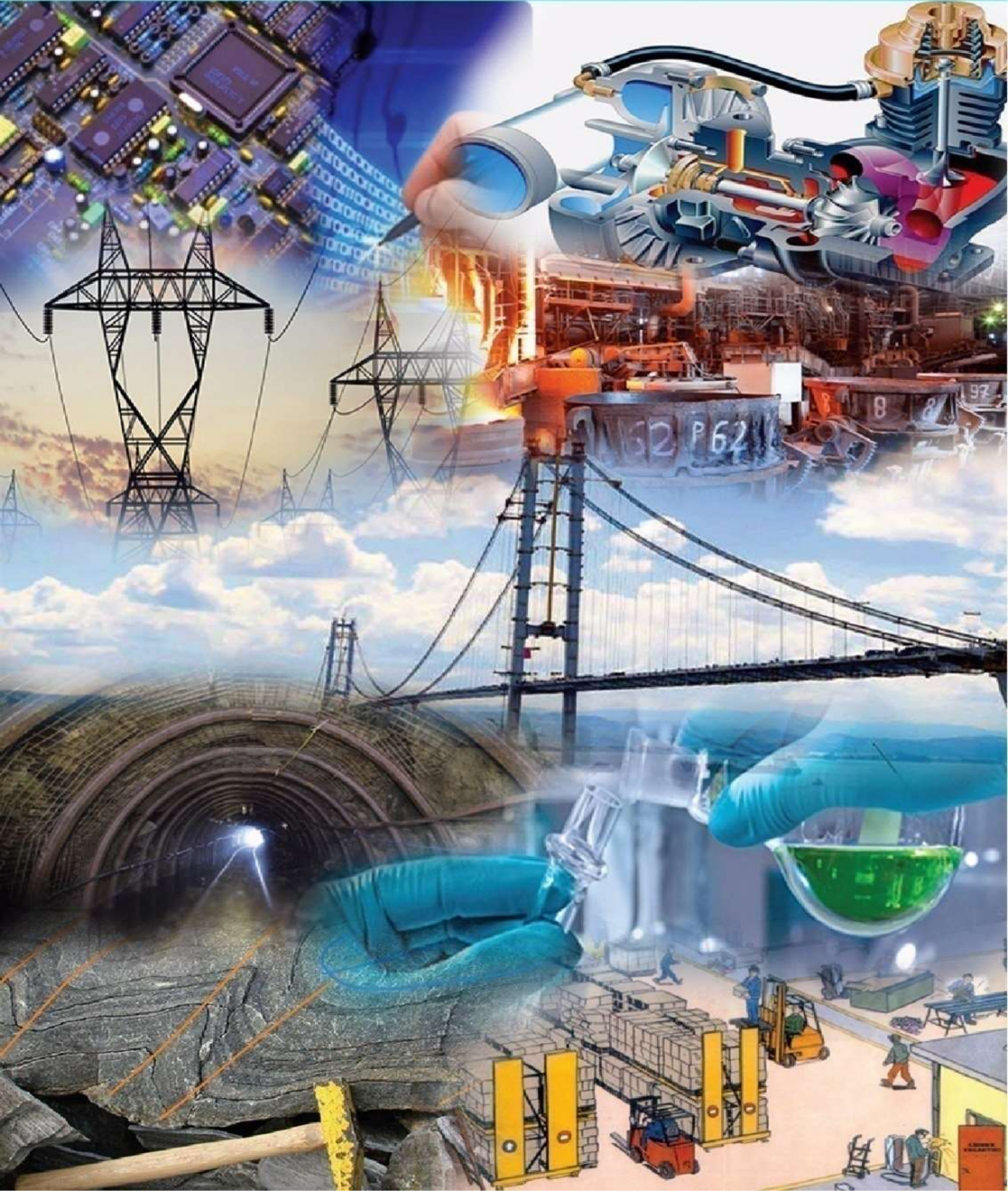
JOURNAL OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE FACULTY OF ESKİŞEHİR OSMANGAZI UNIVERSITY

Yıl / Year : 2024

Cilt / Volume : 32

Sayı/ Issue : 2

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 : 2



**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)

EDİTÖR YADIMCISI / ASSOCIATE EDITOR

Prof. Dr. Melih İPHAR (miphar@ogu.edu.tr)

ALAN (BÖLÜM) EDİTÖRLERİ / AREA EDITORS

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



ÖN DEĞERLENDİRME / PRE-CONTROL

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



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

- Presleme Basıncının Sırlı Porselen Karo Gözenek Yapısına Etkisi** 1269 – 1278
Effect of Pressing Pressure on The Pore Structure of Glazed Porcelain Tile
Zuhal YILMAZ
- MIG ve Ark Kaynağı İle Tamir Edilmiş AISI 1050 Çeliğinin Tribolojik Özelliklerine Kaynak Telinin Etkisinin İncelenmesi** 1279 – 1289
Investigation of The Effect of Welding Wire on The Tribological Properties of AISI 1050 Steel Repaired by MIG and Arc Welding
Koray KILIÇAY, Mustafa Çağatay ERGENE, Salih Can DAYI
- CFD Modelling of The Dust and Air Velocity Behaviour at an Underground Coal Mine Roadway** 1290 – 1296
Bir Yeraltı Kömür Madeni Galerisinde Toz ve Hava Hızı Davranışının CFD İle Modellenmesi
Gülnaz DALOĞLU
- Atık Yüz Maskesinin Düşük Plastisiteli Kil Zeminin Serbest Basınç Mukavemetine ve Kayma Dalgası Hızına Etkisi** 1297 – 1306
Influence of Waste Face Mask on Unconfined Compression Test Strength and Shear Wave Velocity of Low Plasticity Clay
Yağmur UZUNKAYA, Eren BALABAN, Burak GÖRGÜN
- Axial-Load Effect on RC Thin Panels Used For Retrofitting of RC Frames** 1307 – 1314
BA Çerçevesinin Güçlendirilmesinde Kullanılan BA İnce Panellerde Eksenel Yük Etkisi
Pınar TEYMÜR
- Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleriyle Tespit Edilmiş Fiziksel İş Yükü İle Enerji Tüketiminin Değerlendirilmesi** 1315 – 1325
Evaluation of Energy Consumption With Physical Workload Detected by Ergonomic Risk Assessment Methods
Emin KAHYA, Ceyda ÖZGEN, Nasiba JORAYEVA
- Uçucu Kül ve Perlit Esaslı Geopolimer Harçlarda Çömlek Sır Atığı İkamemesinin Yüksek Sıcaklık Dayanıklılığı Üzerindeki Etkisi** 1326 – 1334
The Effect of Pottery Glaze Waste Substitution on High-Temperature Resistance of Fly Ash and Perlite-Based Geopolymer Mortars
Serhat ÇELİKTEN, Bilal BARAN, Zahide BAYER ÖZTÜRK
- Uçaklardan Kaynaklanan Karbon Emisyonunun Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı İçin Belirlenmesi** 1335 – 1342
Determination of Carbon Emissions From Airplanes For Eskişehir Hasan Polatkan Airport
Çisil TİMURALP, Furkan Rıza MERCAN
- Atık Cam Katkılı Asfalt Karışımların Potansiyel Çevresel Etkilerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi İle Analizi** 1343 – 1355
Analysis of The Environmental Impacts Associated With Waste Glass Incorporation into Asphalt Mixes Using Life Cycle Assessment
Burak Yiğit KATANALP



Araştırma Makaleleri / Research Articles

Sayfa

- Synthesis of Benzo[B]Thiophene-Based Organic Compounds and Their Hydrazine Electrooxidation Performance As An Anode Catalyst** 1356 – 1362
Benzo[B]Tiyofen Bazlı Organik Bileşiklerin Sentezi ve Anot Katalizörü Olarak Hidrazin Elektrokoksidasyon Performansı
Omruye OZOK ARICI, Sefika KAYA, Aykut CAGLAR, Hilal KIVRAK, Arif KIVRAK
- A Rule-Based Approach Using The Rough Set On COVID-19 Data** 1363 – 1375
COVID-19 Verileri Üzerinde Kaba Küme Kullanarak Kural Tabanlı Bir Yaklaşımla Duygu Analizi
Rasim ÇEKİK
- Eskişehir İlinde Yapı Temel Kazılarında Sıvılaşma İzlerinin Araştırılması** 1376 – 1389
Investigation of Liquefaction Traces in Building Foundation Excavations in Eskişehir City
Ali KAYABAŞI
- Devrekani (Kastamonu) Yöresi Krom Cevherleşmelerinin Genel Jeolojik Özellikleri** 1390 – 1399
General Geological Properties of Chromium Mineralizations in Devrekani (Kastamonu) Region
Hüseyin SENDİR, Metehan KELEŞ
- Comparative Analysis of Flotation Efficiencies Between Microflotation Cell and Batch Flotation Cell Tests** 1400 – 1406
Mikroflotasyon ve Flotasyon Hücresi İle Yapılan Testlerin Flotasyon Verimliliklerinin Karşılaştırmalı Analizi
Işıl TOKCAN, Hasan Serkan GÖKÇEN
- Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Demir Atomunun, Döküm Kili İle Elde Edilen Mullit Yapısı İçinde Absorplanma Derecesinin Belirlenmesi** 1407 – 1415
Determination of The Degree of Absorption of Iron Atoms Obtained From Different Sources in The Mullite Structure Obtained With Casting Clay
Zeynep Gizem SARITAŞ, Rasim CEYLANTEKİN

PRESLEME BASINCININ SIRLI PORSELEN KARO GÖZENEK YAPISINA ETKİSİZuhal YILMAZ^{1*}¹ Bilecik Seyh Edebali University, Sogut Vocational School, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-2280-6326>

Anahtar Kelimeler	Öz
Sırlı porselen karo Porozite Presleme basıncı İmaj analizi	<i>Sırlı porselen karolar üstün teknik özellikleri ile seramik kaplama malzemeleri içinde önemli bir yere sahiptir. Presleme ve sinterleme işlemleri ürün özelliklerini belirlemede en önemli proses adımları olarak tanımlanır. Bu çalışmada, presleme basıncının sinterlenen ürünlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca imaj analizi ile numunelerin por yapıları ve dağılımları incelenmiş ve elde edilen sonuçlar ürün özellikleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu amaçla, farklı presleme basınçları (350, 400, 450 ve 500 bar) uygulanarak 60X60cm ebatlarında şekillendirilen karolar işletme fırınında 1200 °C'de pişirilmiştir. Şekillendirilen karoların; % pışme çekmesi, % su emme, yoğunluk, sertlik ve mukavemet gibi teknolojik özellikleri test edilmiştir. Numunelerin faz analizi ve mikroyapı analizleri sırasıyla XRD ve SEM teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Çalışmanın sonucunda; 450 bar ve üzerinde presleme basıncı ile şekillendirilen numunelerin porozite ve por boyutlarının azaldığı, daha küresel boyutta ve birbirinden bağımsız porların oluştuğu tespit edilmiştir. Por boyut dağılımlarındaki ve aspect oranlarındaki azalma mukavemet ve bulk yoğunluktaki artışı desteklemiştir.</i>

EFFECT OF PRESSING PRESSURE ON THE PORE STRUCTURE OF GLAZED PORCELAIN TILE

Keywords	Abstract
Glazed porcelain tile Porosity Pressing pressure Image analysis	<i>Glazed porcelain tiles are important building materials with their superior technical properties. These technical properties depend on the manufacturing process and the raw materials used. The most decisive manufacturing process stages are shaping and firing. In this study, the change in physical and mechanical properties on pressing pressure. In addition, pore structures and distributions were examined by image analysis and their effects on properties were determined. Porcelain tiles measuring 60x60cm were molded using pressures of 350, 400, 450, and 500 bars and were fired at 1200°C for 39 minutes. The physical and mechanical properties of the tiles were determined by firing shrinkage, water absorption, density, hardness, and bending strength tests. XRD and SEM characterizations were performed. It was determined that the structure consists of albite, quartz, mullite, and amorphous phases. When the pressing pressure was increased from 350 bar to 450 bar, an improvement in physical and mechanical properties was observed, but no significant change was detected from 450 bar to 500 bar. At pressures up to 400 bar, it is observed that the pores are composed of irregularly shaped and interconnected pores. The porosity and pore sizes decrease with increasing pressure. They are more spherical and have fewer interconnections with each other. The decrease in pore size distributions and aspect ratios supported the increase in strength and bulk density.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi

: 30.09.2023

Submission Date

: 30.09.2023

Kabul Tarihi

: 09.05.2024

Accepted Date

: 09.05.2024

* Sorumlu yazar: zuhal.guven@bilecik.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogumf.1368927>**1. Giriş**

Sırlı porselen karolar yapı malzemeleri için çok büyük bir öneme sahiptir. Yüksek teknik performansa sahip ve kompaktlığı daha fazla olan porselen karoların gelişimi 1980'lerde gerçekleşmiştir (Juan M. Pérez, Rincón ve Romero, 2012). Porselen karonun özellikleri üretim

süreci ve kullanılan hammaddelere bağlıdır. Porselen karo üretimi genellikle kuvars, feldspat ve kaolinitik kil hammaddelerinin tek bir hızlı pişirim işlemiyle üretilir (Chitwaree, Tiansuwan, Thavarungkul ve Punsukumtana, 2018; López, Rodríguez ve Sueyoshi, 2011; J. Martín-Márquez, Rincón ve Romero, 2008; Sánchez, García-Ten, Sanz ve Moreno, 2010). Porselen mikroyapıları neredeyse tamamen yoğun olup,



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/>).

kaolinitik kil hammaddeleri ile feldispat arasında reaksiyon sonucu oluşan müllit kristalleri, camı faz, kalıntı fazlar olarak kuvars ve feldispatın kristal fazlarından oluşur (Gültekin, Topateş ve Kurama, 2017; Leonelli ve diğerleri, 2001; Romero ve Pérez, 2015). Pişirme sırasında müllit kristallerinin oluşumu porselen karonun mekanik özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerden biridir (De Noni Junior, Hotza, Cantavella Soler ve Sanchez Vilches, 2008; Leonelli ve diğerleri, 2001; Jorge Martín-Márquez, Rincón ve Romero, 2010).

Porselen karoların hazırlanma süreçleri fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde büyük öneme sahiptir. Bunlar içinde en önemli prosesler şekillendirme ve pişirmedir. Porselen karoların şekillendirilmesinde presleme yöntemi kullanılmaktadır. Presleme tek eksenli veya izostatik olabilir. Granül yapısı, nem ve presleme basıncı en önemli presleme parametrelerdir (Chin, Ahmad, Jamaludin ve Sow, 2018). Presleme basıncı yoğunluk, Young modülü, pişme çekmesi ve porozite üzerine önemli bir etkiye sahiptir (Al-Shantir, Csáki, Veverka ve Trník, 2019; Al-Shantir ve Trník, 2017; Juan M. Pérez ve diğerleri, 2012; Subota, Spasonova ve Sholom, 2021). Porselen karoların hidrolik presler yardımıyla %5-7 nem içeren granüllerin 40 MPa'da Ancak literatürde seramik tozunun 30-55 MPa aralığındaki daha geniş basınç aralığında preslenmesiyle elde edildiğine dair çalışmalar mevcuttur (Juan M. Pérez ve diğerleri, 2012). Bu çalışmalarda daha çok fiziksel ve mekanik özellikler ile müllit oluşumları incelenmiştir.

Mikro yapıdaki porozite porselen karoların mekanik özelliklerini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Karo üretimi esnasında oluşan porozite ve pişirim sonrası mikroyapıda çatlak gibi kusurlardan dolayı mikroyapıda stres yoğunlaşma bölgeleri oluşturmakta ve istenilen mukavemet değerine ulaşamamaktadır (Eren, Ozturk ve Kurama, 2014). Genel olarak seramiklerdeki mukavemet değeri porozitenin artması ile azalır. Ancak bu sadece porozitenin yüzdesine değil aynı zamanda gözeneklerin boyutuna ve şekline de bağlıdır. Bu nedenle, birbirine bağlı gözeneklerin, mukavemeti azaltan büyük kırılma kusurları gibi davrandığı bilinmektedir (Romero ve Pérez, 2015). Porozite miktarı, porların şekli ve bünyedeki por dağılımı mukavemet, su emme ve parlatma sonrası kullanılan karolar için lekelenme, aşınma ve yüzey parlaklığı gibi özellikleri etkiler (Alves, Freitas, Melchiades ve Boschi, 2011; Sánchez ve diğerleri, 2006). Bu sebeple porozitenin yapısı ve dağılım özelliklerinin araştırılması karonun fiziksel ve mekanik özellikleri için büyük bir öneme sahiptir. Porozitenin imaj analizi ile incelenmesi por yapıları ve dağılımları hakkında önemli bilgiler vermektedir. İmaj analizi ile porozitenin incelendiği çalışmalarda pişirme sıcaklığı ve ısıtma hızının, farklı kalınlıklardaki karoların ve farklı

parlatma derinliklerinde parlatılmış karoların porozite yapıları incelenmiştir (Alves ve diğerleri, 2011; Eren ve diğerleri, 2014; Ozturk ve Ay, 2014). Literatürde presleme basıncının por yapılarına olan etkilerinin imaj analizi ile incelendiği bir çalışmaya rastlanmıştır (Juan M. Pérez ve diğerleri, 2012). Yapılan çalışmada işletme koşullarında presleme basıncına bağlı olarak fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişiminin yanında imaj analizi ile por yapıları ve dağılımları incelenmiş ve özellikler üzerine etkileri belirlenmiştir.

2. Bilimsel Literatür Araştırması

Porozite, seramik karolarda mekanik özelliklerin yanı sıra ürünün aşınma, lekelenme ve kimyasal direncini gibi yüzey özelliklerini de etkilemektedir. Literatürde presleme basıncının seramik karoların, fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırıldığı çeşitli çalışmalar yer almaktadır (Chin ve diğerleri, 2018; Subota ve diğerleri, 2021).

Perez ve ark. (2012), presleme basıncının yaş ve pişmiş porselen karoların teknolojik özelliklerine etkilerini araştırdıkları çalışmada (10-40 MPa), 30 ve 40 MPa basınçla şekillendirilen karoların benzer fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olduklarını belirtmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, tüm basınç değerlerinde müllit ve kuvars miktarının sabit kaldığı belirlenmiştir. Pişen numunelerin SEM görüntülerinde müllit ve kuvars kristalleri tespit edilmiş ve artan pres basıncı ile müllit kristallerinin daha uzun morfolojide oldukları tespit edilmiştir.

Perez ve ark. (2014) yaptığı diğer bir çalışmada ise, 5 farklı presleme basıncı (20, 40, 60, 80 ve 100 MPa) ile farklı kalınlıklarda (3, 4, 5, 6 ve 9 mm) üretilen karoların teknolojik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda; 20-60 MPa kalıplama basınç aralığında şekillendirilen karoların pişirme işlemi sonucunda %su emme, porozite ve eğme mukavemet değerlerini etkilediği, daha yükek presleme basıncı (60-100 MPa) ile üretilenlerde ise önemli bir değişimin olmadığı ifade edilmiştir.

3. Yöntem

DeneySEL çalışmalarda, granül halindeki standart bir porselen karo bünyesi kullanılmıştır. Karo bünyesine ait reçetede kil %45, sodyum feldispat %36, potasyum feldispat %8 ve kaolen %11'dir. Granül masseye, işletme koşullarında Sacmi PH6500 model pres ile 350, 400, 450 ve 500 bar basınç uygulanarak 60X60 cm ebatlarında porselen karo numuneleri elde edilmiştir. Karolar kurutma işlemi sonrasında, Sacmi Formi FMS285/1407 model fırında 39 dakika süreyle 1200 °C'de hızlı pişirim yapılarak sinterlenmiştir. 1200 °C'de geçiş süresi 15 dk'dır. Pişirim sonrası ebat ölçümleri

yapılmış aşağıdaki Eşitlik 1 kullanılarak pişme çekmeleri belirlenmiştir. Pişme çekmesi:

$$\text{Pişme çekmesi} = \frac{L_s - L_c}{L_s} \times 100 \quad (1)$$

Eşitlikte; L_s kuru karo ebatı ve L_c pişme sonrası karo ebatıdır (mm).

Numunelerin bulk yoğunluk ve su emme testleri ASTM C373-88 standardına göre yapılmıştır. Kuru tartımları alınan numuneler 5 saat saf suda kaynatılmış ve 24 saat suda bekletilerek tartımları alınmıştır. Mikro sertlik ölçümleri numune yüzeyleri hassas parlatma cihazı ile parlatılarak Vickers yöntemine göre EMCO TEST M1C 010 cihazında 10 sn 0.1 kg yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Analiz için numunelerin parlatılması işleminde Struers marka parlatma cihazı ve aşındırıcı tanecikler (3 ve 1 µm elmas) içeren çeşitli parlatma sıvıları kullanılmıştır. Numunelerin üç nokta eğme testleri UNE-EN 843-1 standardına göre Gabbrielli Flexi marka elektronik mukavemet test cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

Parlatılmış numunelerin gözenekli mikro yapısı taramalı elektron mikroskobu SEM (ZEISS SUPRA 50VP) ile elde edilen dijital görüntüler kullanılarak incelenmiştir. Dijital görüntüler, her numuneden 3 örnek alınarak, benzer büyütme (250x) koşullarında elde edilen görüntülerden ImageJ Analiz yazılımı kullanılarak por boyutları, toplam porozite alanı ve aspect oranları hesaplanmıştır. Buradan, porozite yüzdesi, yüzey por alanının analiz edilen görüntünün toplam alanına oranıyla belirlenmiştir (Alves ve diğerleri, 2011; Gültekin ve diğerleri, 2017; Ozturk ve Ay, 2014) (Eşitlik 2). Ayrıca por aspect oranları hesaplanmıştır (Alves ve diğerleri, 2011).

$$\text{Porosite \%} = \frac{\text{Por alanı}}{\text{Toplam alan}} \times 100 \quad (2)$$

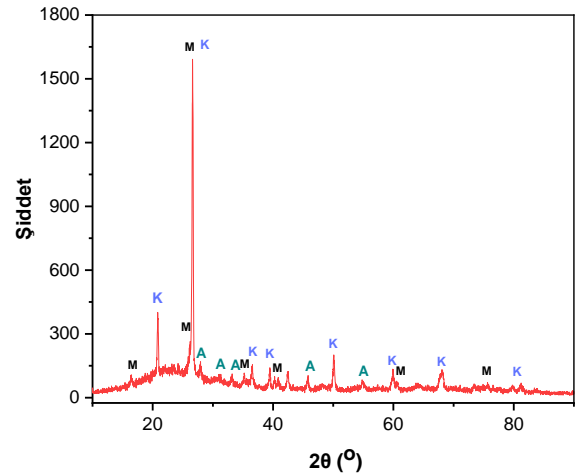
Numunelerin içerdiği kristal fazlar XRD cihazıyla (XRD, Rigaku Miniflex 600) belirlenmiştir. Bunun için 500 bar basınç altında şekillendirilen numune kullanılmıştır. Kantitatif faz miktarları, difraksiyon (Maud) JADE yazılımı kullanılarak Rietveld analiz yöntemiyle hesaplanmıştır. Numunelerin yüzey görüntüleri ise EDS donanımlı SEM cihazı (SEM, ZEISS SUPRA 50VP) ile incelenmiştir. Bu çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Karakterizasyon

Şekil 1'de, 500 bar basınçla şekillendirilmiş ve 1200°C'de sinterleme işlemi uygulanmış numuneye ait XRD paterni verilmiştir. Burada; beklenildiği gibi albit,

kuvars ve müllit fazları tespit edilmiştir. Porselen karoların pişirimi 1180–1280°C sıcaklık aralıklarında gerçekleştirilir (Jorge Martín-Márquez, De La Torre, Aranda, Rincón ve Romero, 2009; Zanelli, Raimondo, Guarini ve Dondi, 2011). Pişirme işlemi sonrasında amorf camsı faz ile kuvars, müllit ve feldispat içeren kristalin fazlar oluşur (De Noni, Hotza, Cantavella Soler ve Sánchez Vilches, 2011; De Noni, Hotza, Soler ve Vilches, 2010; Gültekin ve diğerleri, 2017; Zanelli ve diğerleri, 2011). Sinterleme sırasında albit ayrışmaya başlar ve amorf bir faz oluşturur. Kuvars bu sıvı fazda çözünerek 1000°C'nin üzerinde önemli ölçüde artan amorf bir faz oluşumu ile sonuçlanır. Müllit fazı ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$) oluşumu; kaolinit ve feldspat minerallerinin kimyasal reaksiyonu sonucu 1100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşmektedir (Jorge Martín-Márquez ve diğerleri, 2009, 2010; J. M. Pérez ve Romero, 2014; Romero ve Pérez, 2015). XRD analizinden Maud programı kullanılarak hesaplanan Rietveld analiz sonuçları incelendiğinde (Tablo 1) literatürde bildirildiği gibi yüksek oranda %71,89 amorf faz bulunmuştur. Müllit oluşumu ise % 6,25 dir. Kalıntı albit miktarı % 2,9 ve kuvars miktarı ise % 18,95 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. 500 bar basınçla şekillendirilmiş numuneye ait XRD paterni (M: Müllit, A: Albit, K: Kuvars).

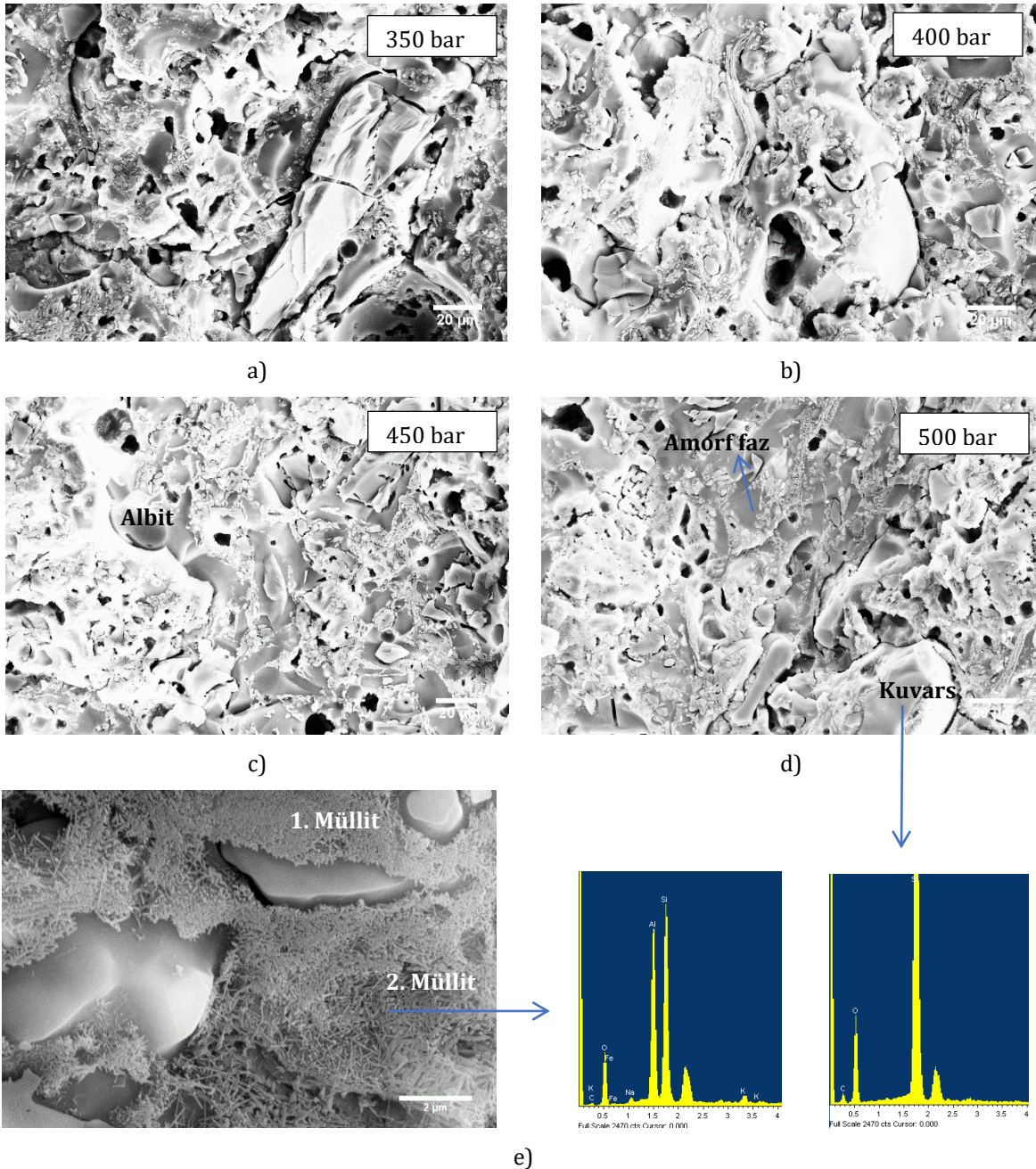
Tablo 1. 500 bar basınçla şekillendirilmiş numuneye ait Rietveld kantitatif faz analizi sonuçları

Fazlar	Ağırlıkça %
Kuvars	18,95
Albit	2,90
Müllit	6,25
Amorf faz	71,89

Şekil 2 (a-d) de, farklı presleme basıncı altında şekillendirilen karolarla ait SEM görüntüleri verilmiştir. Burada; 450 ve 500 bar basınç ile presleme sonucunda mikro yapıda por miktarlarında azalma ve ebatlarında

küçülme olduğu gözlenmiştir. Basınç ile birlikte yoğunluk da artmıştır. 500 bar basınçla şekillendirilen numuneye ait EDS grafiği Şekil 2(e)'de verilmiştir. Porselen karolar kil, eritici ve dolgu maddesinden üretilir. Genellikle kil kaolinittir, eritici olarak feldispat kullanılır ve dolgu maddesi kuvarstır. Bu üç bileşenin sinterlenmesi sonucu daha ince bir bağ veya müllit kristalleri, camsı bir fazdan oluşan matris tarafından bir arada tutulan kaba kuvars tanelerinden oluşan bir mikro yapısına neden olur. Kaolinit, müllit kristallerinin öncüsüdür ve aynı zamanda ham bünyeye plastisite

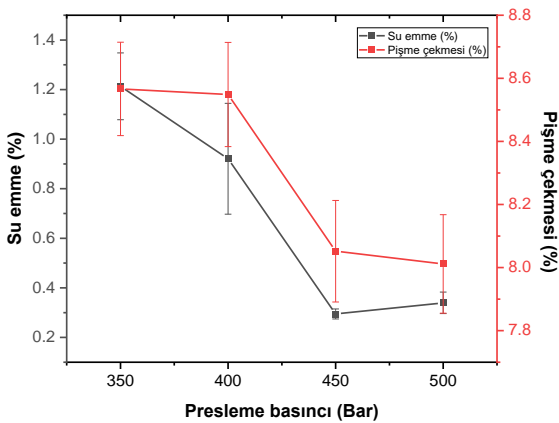
kazandırır. Müllit kristalleri mükemmel mekanik, sürünme, termal ve kimyasal özellikler kazandırır. Kırık Yüzey mikroyapılarında birincil ve ikincil müllit kristalleri görülmektedir. Kuvars, albit ve amorf faz SEM görüntüleri üzerinde gösterilmiştir. Birincil müllit oluşumu saf kil aglomera kalıntılarında kaynaklanır, ikincil müllit ise feldispat nüfuz etmiş kil kalıntılarında uzun iğne şeklinde kristallerden oluşur (Leonelli ve diğerleri, 2001; Jorge Martín-Márquez ve diğerleri, 2010; Juan M. Pérez ve diğerleri, 2012; Romero ve Pérez, 2015).



Şekil 2. Farklı presleme basıncı altında şekillendirilen karolara ait kırık yüzey SEM görüntüleri a) 350 bar, b) 400 bar, c) 450 bar ve d) 500 bar ve e) 500 bar'da preslenmiş numuneye ait EDS sonuçları

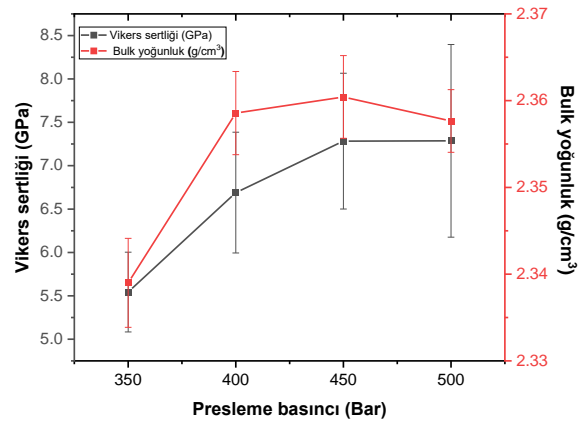
4.2. Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Çalışmada numunelerin pişme çekmesi, su emme, bulk yoğunluk, Vickers sertliği ve mukavemet değerleri ölçülerek presleme basıncının fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. presleme basıncına bağlı olarak % pişme çekmesi ve % su emme değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 3'de verilmiştir. Grafikten görüleceği üzere presleme basıncının artması ile % pişme çekmesi ve % su emme değerlerinde benzer şekilde azaldığı gözlenmiştir. Pişme çekmesi değerleri % 8.01-8.57 aralığında değişmektedir. Sıvı faz sinterlemesinde, sıvı faz gözenekliliği ortadan kaldırmak ve arayüzey enerjisini azaltmak için yüksek enerjili katı buhar arayüzlerinden daha düşük enerjili katı-katı arayüzlerine etki eder. Presleme basıncının artması ile yaş yoğunluğu artan karonun kompaktanmanın artmasına bağlı olarak çekme miktarı değerleri azalır (Juan M. Pérez ve diğerleri, 2012). Presleme basıncına bağlı olarak çekme sonuçları ile uyumlu bir şekilde su emme değerleri de azalmıştır, yani parçacıklar arasında daha az boşluk vardır, bu da daha az gözenek kaldığını gösterir. Kuru presleme yöntemi ile şekillendirilmiş porselen karolarda su emme değerinin UNI EN ISO 13006'ya göre %0.5'den az olması gerekmektedir. Bu değer, 450 bar ve üzerinde basınç uygulanan numuneler ile sağlandığı Şekil 3'de görülmektedir. Su emme doğrudan açık gözeneklilik ile ilişkilidir ve artan presleme basıncı ile açık gözenekliliğin azaldığını gösterir. 450 bar üzerinde ise su emme ve çekme değerlerinde ki değişim azalmıştır. Presleme basıncının daha da artması ile kompakt yapı dolayısıyla sıkışan gazların serbest bırakılmasının zorluğu ve meydana gelen şişkinlik nedeniyle muhtemelen artar. Yüksek ham yoğunluk nedeniyle mikro yapı kilitlenir ve parçacıkların yeniden düzenlenmesini engeller. Bu sebeple basıncın dahada artması su emme değerlerini azalmasına katkı sağlamaz (Juan M. Pérez ve diğerleri, 2012).



Şekil 3. Presleme basıncına bağlı olarak numunelerin % su emme ve % pişme çekmesi değerlerinin değişimi

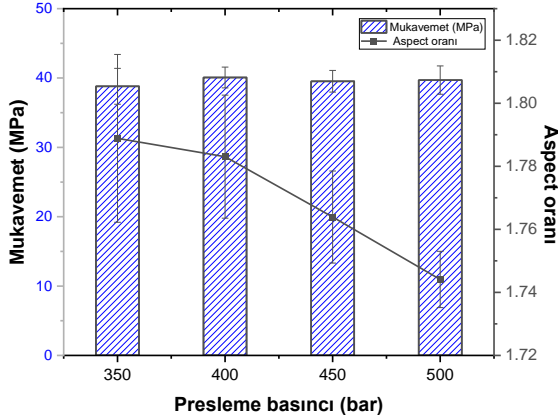
Numunelerin bulk yoğunluğu Arşimet prensibine göre ölçülmüştür. Numunelerin bulk yoğunluğu 2.34-2.36 g/cm³ aralığında değişmektedir ve bu verilerden presleme basıncının numunelerin bulk yoğunluğu değişiminde önemli etkisi olmadığı söylenebilir (Şekil 4). Numunelerin Vickers sertlik değerleri artan presleme basıncına bağlı olarak artış göstermiştir. 350 bar basınç ile 5.54 GPa, 500 bar basınç ile 7.29 GPa sertlik değerleri elde edilmiştir (Şekil 4). Artan presleme basıncı ile gözenek miktarı azalmış ve bu da mikrosertlik artışına katkı sağlamıştır. Bulunan sonuçlar ticari porselen karolar ile uyumludur (J. Martín-Márquez ve diğerleri, 2008; Martín-márquez, Rincón ve Romero, 2010).



Şekil 4. Presleme basıncına bağlı olarak numunelerin Vickers sertlik ve bulk yoğunluk değerlerinin değişimi

Presleme basıncına bağlı olarak numunelerin mukavemet ve aspect oranının değişimi Şekil 5'de verilmiştir. Numunelerin eğme mukavemeti değerleri presleme basıncına bağlı olarak 37,97 ile 39.70 MPa arasında değişmektedir. Tüm numunelerin eğme mukavemeti sonuçları, ISO 13006 standardına göre seramik yer karoları için öngörülen >35 MPa değerini karşılamaktadır (J. Martín-Márquez ve diğerleri, 2008; Oruru, 2019). Açık gözeneklilik, seramik karoların eğme mukavemetini etkileyen en önemli parametre olup, ayrıca müllit fazı oluşumu ve kuvars parçalarının tane boyutunun da eğilme mukavemeti üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Çeşitli çalışmalarda, kuvars tane boyutu azaldığında kırılma enerjisinin ve mukavemetin arttığı ve müllit kristallerinin eğme mukavemetinin artışına katkı sağladığı bildirilmiştir (Ke, Cheng, Wang, Wang ve Pan, 2013; J. Martín-Márquez ve diğerleri, 2008; Martín-márquez ve diğerleri, 2010; Noni, Hotza, Cantavella ve Sanchez, 2009; Oruru, 2019; J. M. Pérez ve Romero, 2014; Juan M. Pérez ve diğerleri, 2012; Romero ve Pérez, 2015). Porların aspect oranı artan presleme basıncı ile azalmış ve en yüksek oran (1.79), 350 bar presleme basıncı uygulanan numune ile elde edilmiştir.

Bu mukavemet değeri de en düşük olan numunedir. Aspect oranı artan numunede por boyu uzadığı için hata oranı da artmaktadır.



Şekil 5. Presleme basıncına bağlı olarak numunelerin mukavemet ve aspect oranının değişimi

4.3. Porozitenin Karakterizasyonu

Tablo 2'de presleme basıncına göre imaj analizi kullanılarak hesaplanan; % porozite miktarı, ortalama por boyutu ve por aspect oranları verilmiştir. Presleme basıncının artması ile porozite miktarında ~%22 azalma gözlenmiştir. Ortalama por boyutlarında artan presleme basıncı ile azalmıştır. 350 bar presleme basıncında 3.533 μm olan ortalama por boyutu 500 bar presleme basıncında 3.306 μm olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde artan basınç ile numunelerin por aspect oranlarında azalmıştır.

Tablo 2. Presleme basıncına bağlı olarak imaj analizine göre hesaplanmış por boyut ve porozite özellikleri

Presleme basıncı (bar)	İmaj analizi toplam porozite (%)	Ort. por boyutu (μm)	Por aspect oranı
350	4.215±0.483	3.533	1.789±0.027
400	4.163±0.814	3.510	1.783±0.020
450	3.289±0.198	3.398	1.764±0.015
500	3.342±0.436	3.306	1.744±0.009

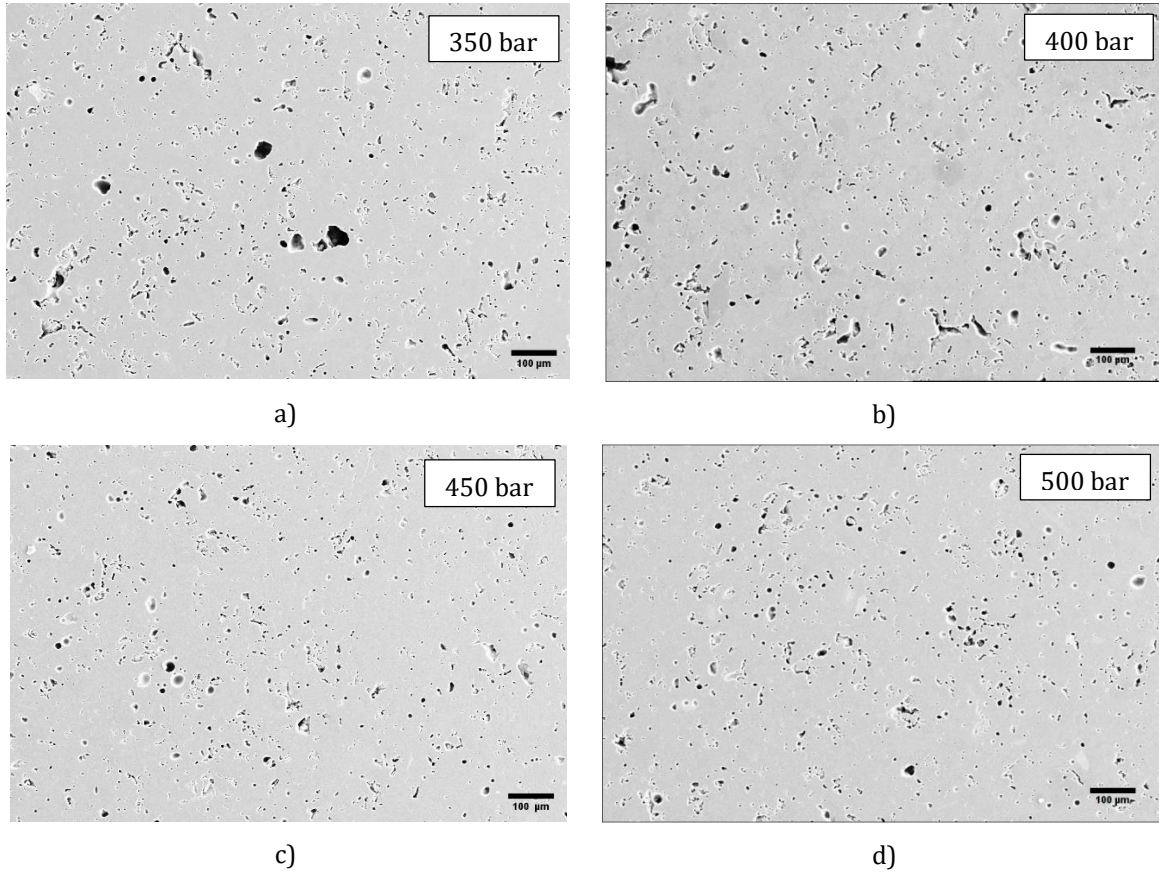
Numunelere ait genel SEM görüntüleri incelendiğinde porların düzensiz şekilli ve birbirine bağlı gözeneklerden oluştuğu görülmektedir (Şekil 6). Basınç oranının artması ile por boyutlarının azaldığı ve daha küresel şekillerden oluştuğu ve birbiri ile olan bağlantılarının azaldığı görülmektedir. Bu verilerin Tablo 2'de yer alan por boyutları ve aspect oranları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4'de yer alan sertlik değerleride göz önüne alındığında por boyutlarının ve aspect oranlarının azalması sebebiyle sertlik değerlerindeki artışta da bu sonuçlar desteklemektedir.

Tablo 3'de yer alan % por boyut dağılımları ve Şekil 7'de yer alan kümülatif por boyut grafiği de artan basınç ile por boyutlarının daha küçük aralıktaki yüzdelere arttığını göstermektedir. Genel olarak seramiklerdeki mukavemet hammadelerin kimyasal reaksiyonunu sonucu oluşan fazlardan etkilense de, diğer önemli faktör porozitedir. Porozitenin artmasıyla katlanarak azalır ve pişirilen gövdeler ne kadar yoğunsa mukavemet de o kadar yüksek olur. Ancak bu sadece porozitenin yüzdesine değil aynı zamanda gözeneklerin boyutuna ve şekline de bağlıdır. Birbirine bağlı porların eğme mukavemetini azaltan büyük kırılma kusurları gibi davrandığı bilinmektedir (Romero ve Pérez, 2015). Presleme basıncının artması yaş bünyede daha fazla sıkışmaya yol açarak daha kompakt bir yapının oluşmasına katkı sağlamaktadır. Por boyut ve aspect oranlarındaki azalma mukavemet ve bulk yoğunluktaki artışı da desteklemektedir. Elde edilen sonuçlara göre presleme basıncının 450 bar ve üzerinde gerçekleştirilmesi daha üstün özelliklere sahip porselen karo üretimini mümkün kılacaktır.

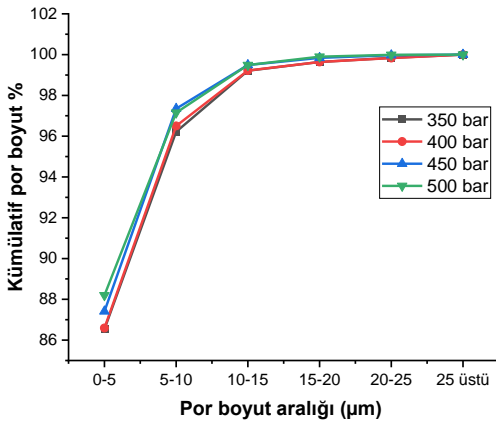
Tablo 3. Presleme basıncına bağlı olarak imaj analizine göre hesaplanmış por boyut dağılımları

Por boyut aralığı % dağılımı	350 bar	400 bar	450 bar	500 bar
0-5 μm	86.54	86.59	87.41	88.20
5-10 μm	9.68	9.91	9.94	8.95
10-15 μm	2.99	2.72	2.14	2.34
15-20 μm	0.43	0.42	0.35	0.41
20-25 μm	0.20	0.19	0.13	0.09
25 μm <	0.16	0.17	0.03	0.01

Şekil 8'de presleme basıncına göre numunelerin log-normal dağılım grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerde, por boyut dağılımının artan basınç ile daha düşük por boyut aralığına kaydığı görülmektedir. Por boyut dağılımlarının en büyük yüzdeye sahip olduğu aralık 0-5 μm olarak tespit edilmiştir. Granüler bir malzemenin sıkıştırılması üç aşamadan oluşur. İlk aşamada granüller akışa bağlı olarak deforme olmadan sıkışma oluşur. İkinci aşamada granüllerin deformasyonu meydana gelir ve bu aşama boyunca porozitedeki azalmanın neredeyse tamamı, tanecikler arası porların ortadan kaldırılmasından kaynaklanmaktadır. Son olarak gövdenin artan sıkışması, parçacıkların yeniden düzenlenmesi yoluyla tanecik içi porozitenin ortadan kaldırılmasından kaynaklanmaktadır (J. M. Pérez ve Romero, 2014). 450 bar ve üzerinde por boyut ve şekillerindeki değişimin tanecikler arası gözenekliliğin ortadan kalkması neticesinde gerçekleştiği düşünülmüştür.



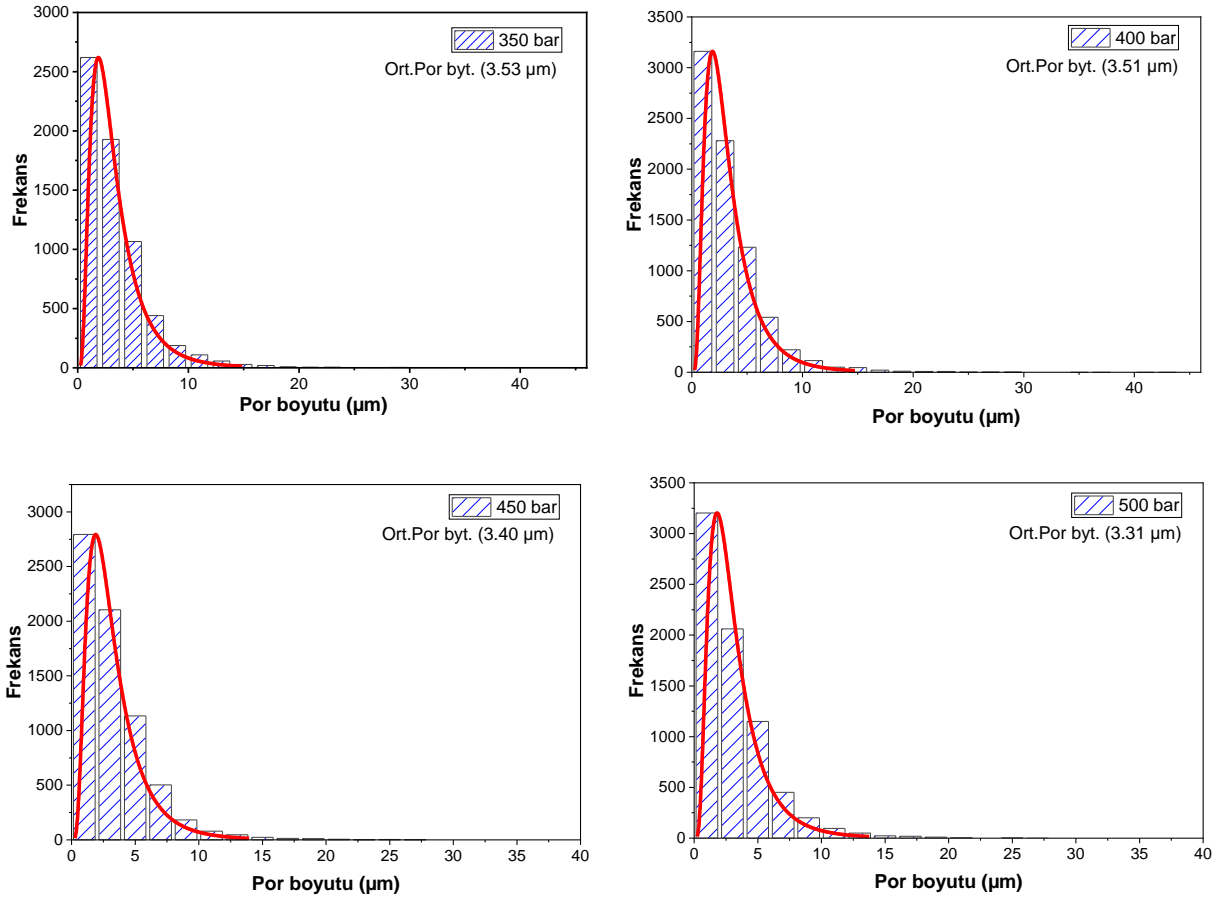
Şekil 6. Farklı presleme basıncı altında şekillendirilen karolara ait SEM görüntüleri: a) 350 bar, b) 400 bar, c) 450 bar ve d) 500 bar



Şekil 7. Presleme basıncına göre kümülatif por boyut dağılımı

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, endüstriyel koşullarda üretilen porselen karoların fiziksel ve mekanik özelliklerine presleme basıncının etkisi araştırılmıştır. 350-500 bar basınç aralığında şekillendirilen numunelerin imaj analizi ile por yapıları ve dağılımları incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; presleme basıncı artışıyla porozitenin ~%22 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, uygulanan İmaj analizi ile de desteklenmiş ve presleme basıncı artışının ortalama por boyut değerlerinde ve por aspect oranlarında azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada por boyut dağılımları ve aspect oranlarının İmaj analizi kullanılarak hesaplanması farklı üretim süreç değişkenlerinin daha etkin bir şekilde belirlenmesinde başarılı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 8. Farklı presleme basıncı altında şekillendirilen karolara ait por boyut dağılımları a) 350 bar, b) 400 bar, c) 450 bar ve d) 500 bar' da preslenmiş numune

Teşekkür

Yazar çalışmaya sağladığı destek için Bien Yapı Ürünleri San. Turz. ve Tic A.Ş (Bozüyük)'ye ve karakterizasyonlar için Eskişehir Teknik Üniversitesi Mazlzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümüne teşekkür eder.

Araştırmacıların Katkısı

Makale tek yazarlıdır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Al-Shantir, O., Csáki, Š., Veverka, J. ve Trník, A. (2019). The influence of compression pressure on thermal expansion, bulk density, and Young's modulus of

electroporcelain mixture up to 1100 °C. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138(3), 2035–2042. doi:10.1007/s10973-019-08490-4

Al-Shantir, O. ve Trník, A. (2017). Influence of compression pressure on Young's modulus of ceramic samples. *AIP Conference Proceedings*, 1866(July). doi:10.1063/1.4994481

Alves, H. J., Freitas, M. R., Melchiades, F. G. ve Boschi, A. O. (2011). Dependence of surface porosity on the polishing depth of porcelain stoneware tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 31(5), 665–671. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2010.11.028

Chin, C. L., Ahmad, Z. A., Jamaludin, A. R. ve Sow, S. S. (2018). Role of moisturising and pressing pressure on ceramic tile properties. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 54(1), 81–89. doi:10.1007/s41779-017-0129-4

- Chitwaree, S., Tiansuwan, J., Thavarungkul, N. ve Punsukumtana, L. (2018). Energy saving in sintering of porcelain stoneware tile manufacturing by using recycled glass and pottery stone as substitute materials. *Case Studies in Thermal Engineering*, 11(December 2017), 81–88. doi:10.1016/j.csite.2018.01.002
- De Noni, A., Hotza, D., Cantavella Soler, V. ve Sánchez Vilches, E. (2011). Influence of composition on mechanical behaviour of porcelain tile. Part III: Effect of the cooling rate of the firing cycle. *Materials Science and Engineering A*, 528(9), 3330–3336. doi:10.1016/j.msea.2010.12.086
- De Noni, A., Hotza, D., Soler, V. C. ve Vilches, E. S. (2010). Influence of composition on mechanical behaviour of porcelain tile. Part II: Mechanical properties and microscopic residual stress. *Materials Science and Engineering: A*, 527(7–8), 1736–1743. doi:10.1016/J.MSEA.2009.10.060
- De Noni Junior, A., Hotza, D., Cantavella Soler, V. ve Sanchez Vilches, E. (2008). INFLUENCE OF PORCELAIN TILE STARTING COMPOSITION ON TILE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES. *CASTELLÓN*, 61–73. <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/0823063e.pdf> adresinden erişildi.
- Eren, E., Ozturk, Z. B. ve Kurama, S. (2014). Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi Image Analyses for Porosity Characterization of Porcelain Tiles with Different Thickness Farklı Kalınlıklardaki Porselen Karoların Gözenek Karakterizasyonu için Görüntü Analizi Programlarını, 14, 147–151.
- Gültekin, E. E., Topateş, G. ve Kurama, S. (2017). The effects of sintering temperature on phase and pore evolution in porcelain tiles. *Ceramics International*, 43(14), 11511–11515. doi:10.1016/j.ceramint.2017.06.024
- Ke, S., Cheng, X., Wang, Y., Wang, Q. ve Pan, Z. (2013). Effect of microstructure on cutting processability of porcelain tile subjected to different firing cycles. *Ceramics International*, 39(7), 7943–7949. doi:10.1016/j.ceramint.2013.03.058
- Leonelli, C., Bondioli, F., Veronesi, P., Romagnoli, M., Manfredini, T., Pellacani, G. C. ve Cannillo, V. (2001). Enhancing the mechanical properties of porcelain stoneware tiles: A microstructural approach. *Journal of the European Ceramic Society*, 21(6), 785–793. doi:10.1016/S0955-2219(00)00266-1
- López, S. Y. R., Rodríguez, J. S. ve Sueyoshi, S. S. (2011). Determination of the activation energy for densification of porcelain stoneware. *Journal of Ceramic Processing Research*, 12(3), 228–232. doi:10.36410/JCPR.2011.12.3.228
- Martín-márquez, J., Rincón, J. M. ve Romero, M. (2010). Effect of microstructure on mechanical properties of porcelain stoneware, 30, 3063–3069. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2010.07.015
- Martín-Márquez, J., Rincón, J. M. ve Romero, M. (2008). Effect of firing temperature on sintering of porcelain stoneware tiles. *Ceramics International*, 34(8), 1867–1873. doi:10.1016/j.ceramint.2007.06.006
- Martín-Márquez, Jorge, De La Torre, A. G., Aranda, M. A. G., Rincón, J. M. ve Romero, M. (2009). Evolution with temperature of crystalline and amorphous phases in porcelain stoneware. *Journal of the American Ceramic Society*, 92(1), 229–234. doi:10.1111/j.1551-2916.2008.02862.x
- Martín-Márquez, Jorge, Rincón, J. M. ve Romero, M. (2010). Mullite development on firing in porcelain stoneware bodies. *Journal of the European Ceramic Society*, 30(7), 1599–1607. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2010.01.002
- Noni, A. De, Hotza, D., Cantavella, V. ve Sanchez, E. (2009). Effect of quartz particle size on the mechanical behaviour of porcelain tile subjected to different cooling rates & , &&, 29, 1039–1046. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2008.07.052
- Oruru, B. (2019). Microstructure and Residual Stress Effect on the Flexural Strength of Porcelain Tiles Formulated from Locally Available Materials in Uganda, 1(1), 1–10.
- Ozturk, Z. B. ve Ay, N. (2014). Investigation of porosity of ceramic tiles by means of image analysis method. *Journal of Ceramic Processing Research*, 15(6), 393–397.
- Pérez, J. M. ve Romero, M. (2014). Microstructure and technological properties of porcelain stoneware tiles moulded at different pressures and thicknesses. *Ceramics International*, 40(1 PART B), 1365–1377. doi:10.1016/J.CERAMINT.2013.07.018
- Pérez, Juan M., Rincón, J. M. ve Romero, M. (2012). Effect of moulding pressure on microstructure and technological properties of porcelain stoneware. *Ceramics International*, 38(1), 317–325. doi:10.1016/j.ceramint.2011.07.009
- Romero, M. ve Pérez, J. M. (2015). Relation between the microstructure and technological properties of porcelain stoneware. A review. *Materiales de Construcción*, 65(320). doi:10.3989/mc.2015.05915

- Sánchez, E., García-Ten, J., Sanz, V. ve Moreno, A. (2010). Porcelain tile: Almost 30 years of steady scientific-technological evolution. *Ceramics International*, 36(3), 831-845. https://www.academia.edu/23297956/Porcelain_tile_Almost_30_years_of_steady_scientific_technological_evolution adresinden erişildi.
- Sánchez, E., Ibáñez, M. J., García-Ten, J., Quereda, M. F., Hutchings, I. M. ve Xu, Y. M. (2006). Porcelain tile microstructure: Implications for polished tile properties. *Journal of the European Ceramic Society*, 26(13), 2533-2540. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2005.06.002
- Subota, I., Spasonova, L. ve Sholom, A. (2021). Influence of forming pressure on frost resistance of ceramics. *Technology audit and production reserves*, 2(1(58)), 15-20. doi:10.15587/2706-5448.2021.229172
- Zanelli, C., Raimondo, M., Guarini, G. ve Dondi, M. (2011). The vitreous phase of porcelain stoneware: Composition, evolution during sintering and physical properties. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357(16-17), 3251-3260. doi:10.1016/J.JNONCRY SOL.2011.05.020

MIG VE ARK KAYNAĞI İLE TAMİR EDİLMİŞ AISI 1050 ÇELİĞİNİN TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNE KAYNAK TELİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Koray KILIÇAY^{1*}, Mustafa Çağatay ERGENE², Salih Can DAYI³

¹ ESOĞÜ Müh.-Mim. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-2025-4991>

² Eskişehir Şişecam Makine Bakım Onarım Departmanı, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-2046-7922>

³ ESOĞÜ, Müh.-Mim. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-0683-2727>

Anahtar Kelimeler	Öz
MIG Kaynak Teli Tamir Sürtünme ve Aşınma	<i>Son yıllarda hasar görmüş makine parçalarının düşük maliyetli kaynak yöntemleri ile tamir edilip tekrar kullanılması yaygın hale gelmiştir. Bu çalışmada imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan MIG ve ark kaynak yöntemleri ile beş farklı kaynak teli kullanılarak AISI 1050 çeliğine kaynaklı tamir işlemleri uygulanmıştır. MIG yönteminde SG2 kalite ve paslanmaz kaynak telleri, ark kaynağında rutil, bazik ve paslanmaz kaynak telleri kullanılmıştır. Tamir edilmiş numunelerin mikroyapı, mikrosertlik, sürtünme ve aşınma davranışları incelenmiştir. Mikroyapı incelemeleri optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri ASTM G99 standartına uygun olarak kuru şartlarda pim-disk yöntemi ile yapılmıştır. Aşınma kanalları yüzey profilometresi ile ölçülerek spesifik aşınma oranları hesaplanmıştır. Aşınmış yüzeyler SEM ve EDS analizi ile incelenerek aşınma mekanizmaları belirlenmiştir. Tamir edilmiş numunelerin kaynak bölgelerinde çatlak, boşluk vb. mikroyapısal kusurlar tespit edilmemiştir. Tamir edilmiş tüm numunelerin mikrosertlik değerleri AISI 1050 çeliğinden yüksek çıkmıştır. En yüksek ortalama mikrosertlik değerleri paslanmaz kaynak teli ile tamir edilmiş numunelerde tespit edilmiştir. Tamir işlemleri sonrası numunelerin aşınma performansı yaklaşık 3 kat artmıştır. En yüksek aşınma direnci MIG yöntemi ve SG2 kalite kaynak teli kullanılan numunede tespit edilmiştir.</i>

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF WELDING WIRE ON THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF AISI 1050 STEEL REPAIRED BY MIG AND ARC WELDING

Keywords	Abstract
MIG Welding Wire Repair Friction and Wear	<i>In recent years, repairing and reusing damaged machine parts with low-cost welding methods has become common. In this study, repair processes were applied to AISI 1050 steel using MIG and arc welding methods, widely used in the manufacturing industry, and five different welding wires. SG2 quality and stainless welding wires were used in the MIG method, and rutile, basic and stainless welding wires were used in arc welding. The repaired samples' microstructure, microhardness, friction, and wear behaviors were examined. Microstructural examinations were carried out using optical microscopy. Wear tests were performed using the pin-disc method under dry conditions in accordance with the ASTM G99 standard. Specific wear rates were calculated by measuring wear channels with a surface profilometer. The worn surfaces were examined by SEM and EDS analysis and the wear mechanisms were determined. No microstructural defects such as cracks, voids, etc. were detected in the weld areas of the repaired samples. The microhardness values of all repaired samples were higher than AISI 1050 steel. The highest average microhardness values were detected in samples repaired with stainless welding wire. After the repair operations, the wear performance of the samples increased approximately 3 times. The highest wear resistance was determined in the sample using the MIG method and SG2 quality welding wire.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 13.12.2023

Kabul Tarihi

: 29.04.2024

Research Article

Submission Date

: 13.12.2023

Accepted Date

: 29.04.2024

* Sorumlu yazar: kkilicay@ogu.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1404233>



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

Bir makine parçasının kullanım ömrü tasarım ve imalat işlemlerinde belirlenir. Belirlenen ömrün sonunda parçanın değiştirilmesi gerektiği kabul edilir (Gagg ve Lewis, 2007). Endüstride her yıl milyonlarca büyük metal parça üretilmekte ve kullanılmaktadır. İleri teknolojiler kullanılsa bile parçaların imalatında ve çalışma şartlarında meydana gelen aşırı yükler nedeniyle veya ağır hizmet şartlarından kaynaklanan çeşitli hasarlar oluşabilmektedir (Li, Han, Horváth ve Zhang, 2019). Mühendislik yapıları, hizmet ömürleri boyunca oldukça yüksek mekanik yüklere ve zorlu çevre koşullarına maruz kalır (Farahani, Sarhadi, Alizadeh-Sh, Fæster, Danielsen ve Eder, 2023). Mühendislik parçaları genellikle uzun süreli hizmet koşulları sırasında tekrarlı yükler sonucu yorulma, sürünme, termal şok, kaplama tabakalarının kalkması, korozyon, aşınma vb., mekanizmalar ile arızalanır (Yurioka ve Horii, 2013). Kullanım ömründen önce gerçekleşen hasarlar ise aşınma mekanizmalarından kaynaklanabilmektedir (Gagg ve Lewis, 2007). Hizmet koşullarında mühendislik parçaları yapısal bütünlüğünü korumak ve istenen tasarım ömrünü yerine getirmek için kaynakla tamir gerektirebilir (Das Banik, Kumar, Singh ve Bhattacharya 2022). Son yıllarda iyi mekanik özellikleri, düşük maliyeti, korozyona dayanıklı yapısı ve geri dönüşümü bulunan çeliğin çeşitli sektörlerde kullanımı hızla artmaktadır. Çelik parçalar endüstrideki yüksek iş yükü koşulları nedeniyle düzenli bakım ve onarım gerektirmektedir. Çelik parçaların kaynağı montaj ve tamir uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Singh, Kumar, Kumar ve Kumar, 2022).

Kaynak, benzer veya farklı iki veya daha fazla metalin ısı ve/veya basınç uygulanarak birleştirildiği bir imalat işlemidir. Çoğu kaynak yönteminde basınç uygulanmadan sadece ısı kullanılır. Bu işlemler sırasında kullanılan ısı; bir elektrik arkıyla, elektrik direnciyle veya gaz yanması gibi yöntemler ile elde edilebilir. Kaynak, iki metal parçasının ergime sıcaklıklarına ısıtılmasını ve tek bir kalıcı parça oluşturacak şekilde bir araya getirilmesini içeren bir birleştirme işlemidir. Isıtma işlemi sırasında, iki parçanın birleştirilmesine yardımcı olmak için genellikle kaynak dolgu metali olarak bilinen ilave metal kaynak havuzuna eklenir (Sahoo ve Tripathy, 2021). Dolgu teli ana metale benzer bileşimde ve daha düşük ergime sıcaklığına sahiptir. Kaynak bölgesine daha fazla malzeme sağlamak, boşlukları doldurmak ve kaynak işlemi sırasında meydana gelen kayıpları telafi etmek amacıyla kullanılır (Tsfaye ve Getaneh, 2023). Kaynak; imalat, otomotiv, havacılık ve gemi inşa endüstrilerinde birleştirme ve onarım için kullanılan en yaygın işlemidir (Sahoo ve Tripathy, 2021). İhtiyaç ve çalışma şartlarına göre çeşitli kaynak teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektrik ark kaynağı, işlemin basitliği nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir kaynak yöntemidir. Aynı zamanda kaynakta, kaynak metalinin

oluşması nedeniyle prosesin kontrol edilmesi zordur (Dement'yev, Sterkhov ve Solov'yev, 2020). Ark kaynağı; basitlik, taşınabilirlik, hem alternatif hem de doğru akımla uygulanabilir olmasıyla işlevsellik ve iş parçası malzemesini ergitmek için daha yüksek sıcaklıklara dayanabilme yeteneği nedeniyle diğer kaynak yöntemlerinden daha fazla tercih edilir (Sahoo ve Tripathy, 2021). Ark kaynağında ısı kaynağı elektrik arkıdır. Bir elektrik arkında ulaşılan sıcaklıklar 5500°C'ye kadar çıkabilir. Elektrik arkı, kaynak elektrodu ile iş parçası arasındaki boşluk tarafından kasıtlı olarak oluşturulan sürekli bir kıvılcımdır. Daha büyük ısı çıkışı ve daha az oksidasyon nedeniyle, elektrik arkıyla üretilen kaynağın kalitesi gaz kaynağına göre çok daha iyidir. Ark kaynağı için A.C. veya D.C. güç kaynağı kullanılabilir (Gupta, Gupta ve Mittal, 2009). Metal inert gaz (MIG) çeşitli endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan gaz korumalı ark kaynak yöntemidir (Cui, Chen, Xia, Han, Su, ve Wu, 2023). Üretim endüstrilerinde MIG kaynağı, daha hızlı ve daha ekonomik bir üretim süreci olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır. MIG kaynağı; gemi inşa endüstrileri, demiryolu endüstrileri, nükleer endüstriler, petrokimya endüstrileri, petrol rafinerisi, boru hatları endüstrileri vb. gibi çok sayıda imalat endüstrisinde sıklıkla kullanılan bir işlemdir (Ali Rizvi ve Ali, 2023). MIG kaynağı; kullanım kolaylığı, kaynak hızının yüksek olması ve dolayısıyla üretim miktarının yüksek olması nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir kaynak tekniğidir (Singh ve diğ., 2022). Kaynak bağlantıları ve ark, koruyucu gazla çevresel kirlilikten korunur. Dolgu teli, kaynak havuzuna otomatik beslenirken, elektrik arkı ile ergiyerek kaynağın havuzuna dahil olur (Arunakumara, Sagar, Gautam, George ve Rajeesh, 2023). MIG kaynak işleminin çalışma prensibi, bu işlemdeki elektrotun makara formunda olması ve işlem sırasında sürekli olarak işe doğru beslenmesidir. Aynı zamanda inert gaz aynı torçtan geçirilir. İntert gaz olarak genellikle argon kullanılır. Koruyucu gaz havanın ergimiş metal ile temas etmesini önlemek için kullanılır, gaz beslendiğinde iyonize olur ve elektrot ile iş parçası arasında ark başlatılır (Tsfaye ve Getaneh, 2023).

Son zamanlarda, elektrik arkına dayalı kaynak işlemleri, hasarlı mekanik bileşenlerin onarımı veya yeniden imalatındaki kullanılabilirliğinden dolayı imalat sektöründe büyük ilgi görmüştür (Farfan-Cabrera, Reséndiz-Calderón, Hernandez-Peña, Campos-Silva, Gallardo-Hernández ve Contla-Pacheco, 2023). Kaynak yöntemi; yüksek verimlilik, geniş uygulanabilirlik ve tamir edilen katman ile altlık malzeme arasında yüksek bağlanma mukavemeti avantajlarına sahiptir (Li, Chai, Tang, Zhang, Qi, Zhang, Peng ve Huang, 2023) Kaynaklı tamir yöntemi çeliklerin çalışması sırasında veya üretiminde meydana gelen hataların düzeltilmesi için yapılan dolgu kaynağı yöntemidir. Çeliklerde meydana gelen hataların üretimi durdurması, parçaların sökülüp tekrar takılması, yeni parça siparişi ve üretimi gibi zaman

kayıpları işletmelere önemli ölçüde ekonomik yük getirebilir. Aynı zamanda kaynaklı tamir edilmiş parçadan hasar oluşmadan önceki performansını sağlaması ve çalışma ömrünün uzaması beklenmektedir. AISI 1050 çeliğinin MIG ve ark kaynağı ile tamir edilmesinin araştırıldığı bu çalışmada farklı kaynak tellerinin tribolojik özellikleri üzerinde durulmuştur. Literatür araştırması, kullanılan malzeme ve yöntemler ile elde edilen bulgular tartışılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Güvenlik, ekonomik, teknolojik ve ticari nedenlerden dolayı sektörde parça onarımı ihtiyacı uzun zaman önce ortaya çıkmıştır. Uzun süredir var olan ihtiyaca rağmen günümüzde bile manuel onarım endüstriyel uygulamalarda hala en yaygın kullanılan yaklaşımdır (Li ve diğ., 2019). Araştırmacılar çeşitli kaynak yöntemleri ile çelikler ve alüminyum gibi hafif metallerin tamir uygulamaları üzerine çalışmışlardır. Ancak araştırmalar genellikle kaynak parametrelerinin optimizasyonu üzerine odaklanmıştır. Farklı kaynak telleri mikroyapısal değişikliğe neden olarak tamir kaynaklarının mekanik özelliklerini etkileyebilir (Hou, Xu, Wang, Zhang, She, Li, Xiao, Tang ve Pan, 2022). Ayrıca literatürde kaynaklı tamir edilmiş parçaların tribolojik özellikleri üzerine yapılmış araştırmalar oldukça kısıtlıdır. Literatürdeki benzer çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Ayan, Sarı ve Kahraman (2018) çalışmalarında üç boyutlu metal yazıcıya MIG-MAG kaynak yöntemini entegre ederek hasarlı bir dişli çarkın tamir edilmesini araştırmışlardır. Üç boyutlu metal yazıcıya bağladıkları MIG-MAG torcu ile kaynak teli beslemesi yaparak hasarlı bölgeye dolgu kaynağı uygulamışlardır. Dişli çark malzemesi olarak S235JR, kaynak teli olarak SG2 tel kullanmışlardır. Tamir bölgesinde gözle görülür hatalara rastlamamışlardır.

Başığit (2020) çalışmasında alüminyum esaslı taşıt jantlarının kaynaklı tamirini incelemiştir. TIG kaynak yöntemi ile tamir sonrası mekanik ve mikroyapısal özellikleri karşılaştırmıştır. Tamir işlemi sonrası işlem görmemiş ana malzemeye göre mikroyapıda ve mikrosertlik değerlerinde önemli bir değişim olmadığını belirlemiştir.

Arslan ve Toplan (2023) çalışmalarında AA6061 alüminyum alaşımına MIG ve TIG kaynak yöntemi ile yapılan kaynaklı tamir işleminin etkilerini incelemiştir. Dolgu teli olarak ER5356 %5 magnezyum alaşım alüminyum tel kullanmışlardır. Radyografik muayene sonucunda kaynak dikişlerinde süreksizlik tespit etmemişlerdir. MIG kaynağının mukavemetinin TIG kaynağının çekme mukavemetinden daha fazla olduğunu belirlemiştir. TIG kaynağının ısı girdisi daha fazla olduğu için tamir işleminden sonra daha fazla distorsiyon (çarpılma) gözlemlenmiştir.

Farfan-Cabrera vd. (2023) çalışmalarında, ark kaynağı ile tamir edilen düşük karbonlu AISI 1018 çeliği üzerine tribolojik olarak iyileşme için borlama uygulanmasının etkilerini incelemiştir. Onarılan çeliğin borlamadan önceki ve sonraki tribolojik davranışlarını incelemiştir. MIG kaynak yöntemi ve ER70S-6 kaynak teli kullanmışlardır. Ayrıca borür kaplamanın hem orijinal malzemedeki hem de onarılan bölgedeki fiziksel ve mekanik özelliklerini optik mikroskop, X-ışını kırınımı, sertlik testleri ve yapışma testi ile değerlendirmişlerdir. Kaynaklı tamir edilmiş bölgelerin sertliğinin kaynaklanmamış bölgelerden daha düşük olduğunu belirlemiştir. Borlanmamış numunelerin aşınma hacmi kaynaklı bölgede kaynaklı bölgeye göre daha yüksek olurken, borlanmış numunelerde kaynaklı ve kaynaklı bölgeler arasında önemli bir fark olmadığını tespit etmişlerdir. Ancak hem borlanmış hem de borlanmamış numuneler için kaynaklı ve kaynaklı bölgeler arasında anlamlı bir sürtünme katsayısı farkı belirlemediği belirtilmiştir.

Lee, Lee ve Kim (2022) MIG kaynak makinesi tel ark katmanlı imalat yöntemini kullanarak, hasarlı çapraz kızaklı torna tezgâhı parçasının, nikel alaşım tel kullanarak tamir edilmesini araştırmışlardır. Tamir edilen parçanın mikroyapısını, kimyasal bileşimini ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Tamir işlemi sırasında işlem parametrelerini belirlemek için ön deneyler yapmışlardır. Tamir edilmiş bölgede gözeneksiz bir mikroyapı elde etmiş ve sertlik değerlerinde ana malzemeye göre artış elde etmişlerdir.

Li vd. (2023) çalışmalarında 27SiMn çelik yüzeyinin kaynaklı tamir yöntemi ile tamir edilmesini incelemiştir. Tamir malzemesi olarak 316L paslanmaz çelik tel ve toz kullanmışlardır. Tamir edilen bölgenin belirgin kusurlar içermediğini ve altlık malzemeye iyi bir metalürjik bağ ile bağlandığını belirlemiştir. Tamir edilmiş bölgenin korozyon direncinin alt tabakaya göre daha üstün olduğunu tespit etmişlerdir. Tamir edilmiş bölgenin aşınma testleri sonucunda aşınmanın abrasif ve oksidatif aşınma mekanizmaları ile gerçekleştiğini belirlemiştir.

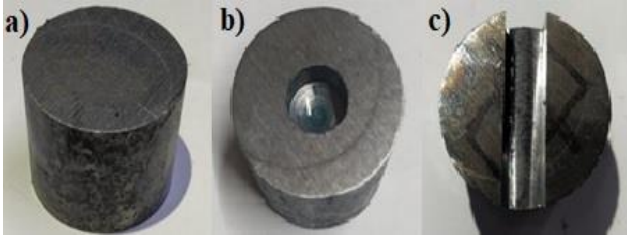
Li, Dong, Wang, Liu, Tan, Shangguan, Lu ve Zhong (2020) çalışmalarında alüminyum 7N01-T4 ve 7N01-T5 alaşımlarının MIG kaynağı ile kaynatıldıktan sonra, tamir kaynağının kaynaklı bağlantının mikro yapısına ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Kaynak dolgu metali olarak ER5356 ve koruyucu gaz olarak yüksek saflıkta argon gazı kullanmışlardır. Orijinal kaynaklı bağlantının ve tamir edilmiş kaynaklı bağlantının çekme mukavemetini sırasıyla 283 MPa ve 280 MPa olarak tespit etmişlerdir ve mühendislik uygulamalarında talepleri karşılayabileceğini vurgulamışlardır.

Naing ve Muangjunburee (2022) çalışmalarında alüminyum 6082-T6 alaşımının MIG kaynak yöntemi ile tamir edilmesini araştırmışlardır. Kaynak dolgu metali

olarak ER 4043 ve ER 5356 kullanarak tamir kaynağının metalurjik ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir. ER 5356 dolgu maddesiyle kaynak tamiri yapılan AA6082-T6 bağlantılarında daha yüksek gözeneklilik oluştuğunu belirlemişlerdir. ER 5356 dolgu maddesi ile yapılan tamir kaynağının, ER 4043 dolgu maddesi ile yapılandırılan daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduğunu bulmuşlardır.

3. Yöntem

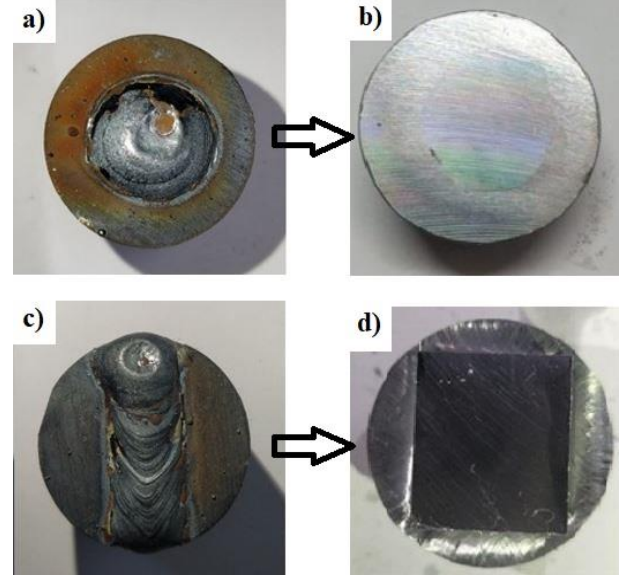
Kaynaklı tamir işlemi uygulanacak AISI 1050 çelik numunelere talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak kanal ve delik geometrileri işlenmiştir. 28 mm çapında ve 26 mm yüksekliğinde AISI 1050 numunelere; mikroyapı incelemelerinde kullanılmak üzere 7 mm genişliğinde, 6 mm derinliğinde kanallar frezelenmiş ve aşınma deneylerinde kullanılmak üzere 10 mm çapında ve 6 mm derinliğinde delikler delinmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. a) AISI 1050 Çelik Numune: b) Aşınma Deneyi için Hazırlanan Delik c) Mikroyapı İncelemesi için Hazırlanan Kanallın Görüntüsü.

Talaşlı imalat yöntemleri ile hazırlanan hasarlı AISI 1050 numuneler iki farklı kaynak yöntemi ve beş farklı kaynak teli kullanılarak tamir işlemine tabi tutulmuştur. Kaynaklı tamir işlemi sonrası numune yüzeyleri tekrar frezelenerek incelemeler için hazırlanmıştır (Şekil 2). Mikroyapı numuneleri tamir edilmiş bölgelerinden dik kesit olarak kesilerek incelenmiştir.

Kaynaklı tamir yöntemi olarak elektrik ark (EA) kaynağı (Gekamac arc 200lt) ve MIG kaynağı (Erdemsan e350) kullanılmıştır. Kaynaklı tamir yöntemlerinde kullanılan kaynak parametreleri Tablo 1' de verilmiştir. MIG yönteminde SG2 kalite (Magmaweld MG2) ve paslanmaz (Magmaweld MI 308LSi) kaynak telleri, ark kaynağında rutil (Magmaweld ESR 13), bazik (Magmaweld Esb 48) ve paslanmaz (Magmaweld EI 308L) kaynak dolgu telleri kullanılmıştır. Kullanılan kaynak dolgu tellerinin yüzde kimyasal bileşimleri Tablo 2' de verilmiştir. Tüm kaynak telleri yüzde kalan değer kadar demir elementi içermektedir.



Şekil 2. Numunelerin Makro Görüntüsü: a)Kaynaklı Tamir Sonrası Aşınma Numunesi, b)Frezelenmiş Aşınma Numunesi, c)Kaynaklı Tamir Sonrası Mikroyapı Numunesi ve d)Frezelenmiş Mikroyapı Numunesi.

Tablo 1. Kaynaklı Tamir Yöntemlerinde Kullanılan İşlem Parametreleri.

Kaynak Parametreleri	Ark Kaynağı	MIG Kaynağı
Akım (A)	120	240
Tel besleme hızı (m/dk)	elle	14
Tel kalınlığı (mm)	3.25	1.2
Kaynak dolgusu	rutil bazik paslanmaz	SG2 paslanmaz

Tablo 2. Kaynak Dolgu Tellerinin Kimyasal Bileşimleri (%Ağ.)

Dolgu telleri	C	Si	Mn	Cr	Ni
Rutil(EA)	0.07	0.45	0.6	-	-
Bazik (EA)	0.08	0.4	1.1	-	-
Paslanmaz (EA)	0.02	0.7	0.9	19.5	10
SG2 (MIG)	0.07	0.9	1.45	-	-
Paslanmaz (MIG)	0.01	0.7	1.9	20	9.5

Tamir işlemleri sonrası numunelerin mikroyapı işlemleri için dik kesit numuneleri ıslak kesme yöntemi ile kesilmiş, 660 ve 220 grit zımparalar ile zımparalanmıştır. Parlatma işlemleri için çeşitli çuhalar ile 9 µm, 3 µm ve 1 µm elmas solüsyon kullanılmıştır. Optik mikroyapı incelemeleri Nikon Eclipse L150 mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı numuneleri için gerçekleştirilen metalografik numune hazırlama işlem adımları, mikrosertlik ve aşınma deneyi numunelerine de uygulanmıştır. Mikrosertlik ölçümleri Future-Tech FM700 cihazında 100gf yük ve 10 saniye bekleme süresi kullanılarak yapılmıştır. Numunelerin dik kesitinden, yüzeyden içeriye doğru 1 mm aralıklar

ile sertlik ölçümleri alınmış ve her numune için bu işlem üç kere tekrarlanmıştır. Ölçülen sertlik değerleri ile ortalama sertlik değerleri hesaplanmış ve yüzeyden içeriye doğru sertlik dağılımları elde edilmiştir. Aşınma testlerinden önce numunelerin yüzey pürüzlülüğünden etkilenmemesi için yüzey parlatma işlemi ile ortalama yüzey pürüzlülüğünün yaklaşık 0.2 µm değerine getirilmesi sağlanmıştır. Kuru şartlarda ASTM G99 standartlarına uygun CSM tribometre kullanılarak aşınma deneyleri gerçekleştirilmiş ve sürtünme katsayısı değerleri kaydedilmiştir. Deneylerde WC aşındırıcı karşı cisim (Ø3 mm), 5N yük, 100 metre aşınma mesafesi ve 190 dev/dk kullanılmıştır. Aşınma deneyleri sonrası aşınma kanalları yüzey pürüzlüğü ölçüm cihazı ile ölçülerek aşınma hacmi hesaplanmıştır. Elde edilen verilerden Denklem 1' e göre aşınma oranları hesaplanmıştır. Aşınma kanalları SEM ve EDS analizleri ile incelenmiş ve aşınma mekanizmaları tespit edilmiştir.

$$W = \frac{V}{F \times L} \quad (1)$$

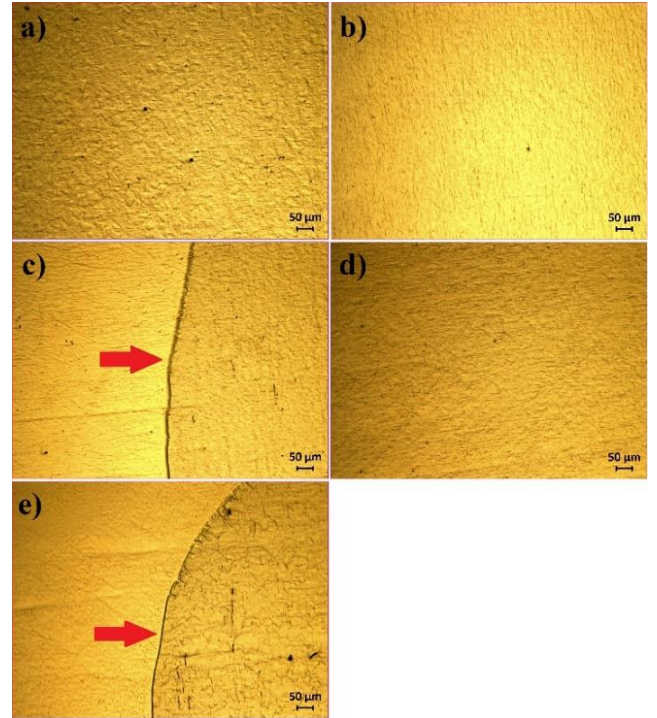
Burada; W aşınma oranı (mm³/N/m), V aşınma hacmi (mm³), F kuvvet (N) ve L aşınma mesafesi (m)' dir. Çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4. Bulgular

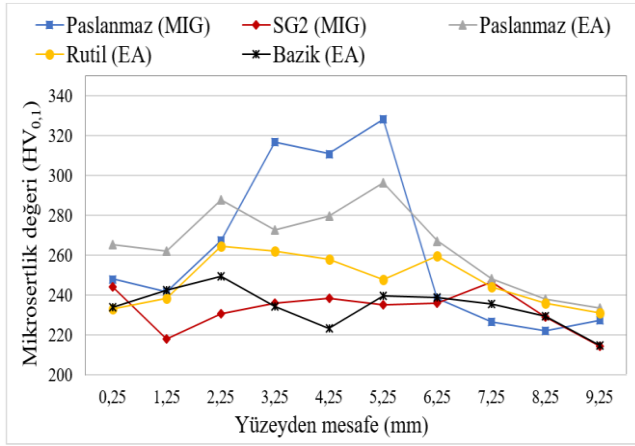
Kaynakla tamir edilmiş beş farklı numuneye ait mikroyapı görüntüleri Şekil 3' de verilmiştir. Şekil 3-a, 3-b ve 3-c elektrik ark kaynaklı tamir edilmiş yüzeyleri; Şekil 3-d ve 3-e MIG kaynağı ile tamir edilmiş yüzeyleri göstermektedir. Kaynakla doldurulan bölgelerde çatlak, boşluk vb. mikroyapısal kusurlar tespit edilmemiştir. Bu durum seçilen kaynak yöntemi, işlem parametreleri ve kaynak tellerinin doğru seçildiğini göstermektedir. Kaynakla tamir edilmiş numunelerden paslanmaz tel kullanılan iki numunede de ana metal ve tamir bölgesi arasında belirgin geçiş oluşmuştur. Geçiş bölgeleri Şekil 3-c ve 3-e' de kırmızı ok ile gösterilmiştir. Bazik, rutil ve SG2 tel kullanılmış numunelerde geçiş bölgeleri belirgin değildir. Bu durum AISI 1050 altık çeliğinin kimyasal bileşimi ile bazik, rutil ve SG2 kaynak tellerinin kimyasal bileşiminin benzer olması ile açıklanabilmektedir.

Şekil 4' te kaynakla tamir edilmiş beş numuneye ait yüzeyden içeriye doğru 1 mm mesafelerde alınmış mikrosertlik değerleri ve Tablo 3' te tamir edilmiş numunelerin ortalama mikrosertlik değerleri verilmiştir. Yüzeyden içeriye doğru alınan mikrosertlik ölçümlerinde dalgalanmalar belirlenmiştir. Bu durumun nedeni ilave dolgu tellerinin kaynak havuzu içinde ergiyerek kompozit bir mikroyapı oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda kaynak havuzu içindeki soğuma hızı farklılıklarının da bu duruma neden olduğu düşünülmektedir. İşlemsiz AISI 1050 numunenin ortalama mikrosertlik değeri 219.7±10.1 HV_{0.1} olarak ölçülmüştür. Kaynakla tamir edilmiş numunelerin tümünde ortalama mikrosertlik değerleri

işlemsiz AISI 1050 numunesinden yüksek çıkmıştır. Paslanmaz (MIG), SG2 (MIG), paslanmaz (EA), rutil (EA) ve bazik (EA) kaynak telleri ile tamir edilmiş numunelerin ortalama mikrosertlik değerlerinde sırasıyla yaklaşık olarak %19.5, %5.5, %20.5, %12.5 ve %6.5 değerinde artış olmuştur. En yüksek sertlik değerleri paslanmaz tel kullanılan kaynaklı tamir yöntemlerinde elde edilmiştir. Bu durumun, paslanmaz tellerin içinde bulunan Ni ve Cr elementlerinin muhtemel karbür yapıları oluşturması ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Kaynaklı tamir yöntemi uygulanmış numunelerde sertlik artışının ana nedeni kaynak akımı ile ergitilen bölgelerdeki ısı girdisi ve hızlı soğuma etkisidir. Kaynakta çıkan yüksek sıcaklık sonrası soğuma hızı, kritik soğuma hızını aştığında bu bölgelerde sert bir yapı olan martenzitik yapı oluşumu görülür. MIG yönteminde kullanılan teller 1,2 mm ve EA yönteminde kullanılan teller 3.25 mm çapındadır. Çapı düşük olan MIG yöntemi tellerinde numuneler üzerinde açılan kanalları tamir etmek için daha çok paralel kaynak dikişi atılması gerekmektedir. Daha yüksek sayıda atılması gereken paralel kaynak dikişleri daha önce atılan kaynak dikişlerini ilave ısıya maruz bırakmıştır. Bu durum bu numunelerin sertliğinde bir miktar azalmaya neden olmuştur.



Şekil 3. Tamir Edilmiş Numunelerin Optik Mikroyapı Görüntüleri: a) Rutil (EA), b)Bazik (EA), c) Paslanmaz (EA), d) SG2 (MIG) ve e) Paslanmaz (MIG).

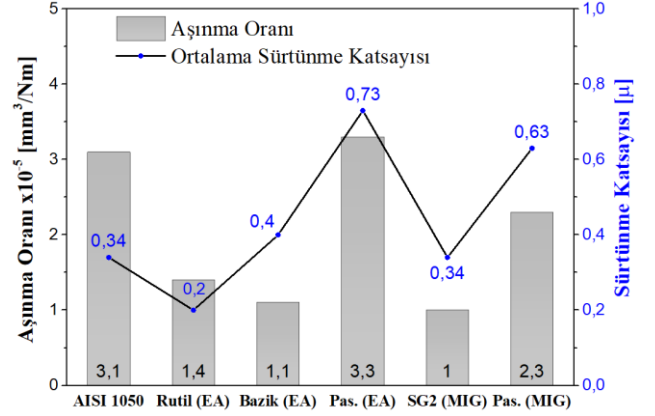


Şekil 4. Tamir Edilmiş Numunelerin Yüzeyden İçeriye Mikrosertlik Dağılım Grafiği.

Tablo 3. Tamir Edilmiş Numunelerin Ortalama Mikrosertlik Değerleri.

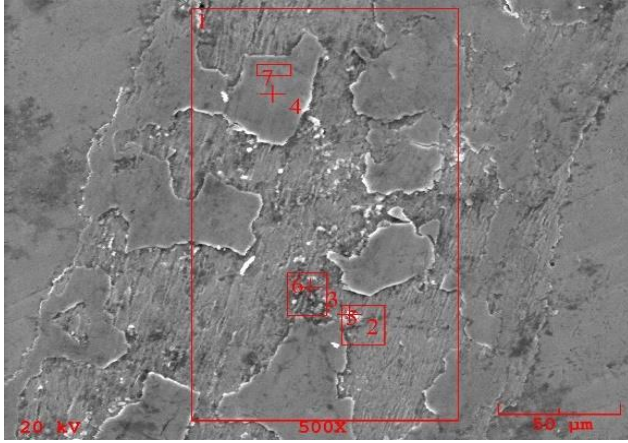
Birimler	Ortalama Mikrosertlik (HV _{0,1})	Sapma Değeri (±)
Rutil(EA)	247.5	12.7
Bazik (EA)	234.2	9.8
Paslanmaz (EA)	265.2	20.6
SG2 (MIG)	232.8	10.3
Paslanmaz (MIG)	262.8	40.9

Kuru kayma şartlarında gerçekleştirilen aşınma test sonuçlarından elde edilen aşınma oranları ve ortalama sürtünme katsayısı değerleri Şekil 5' te verilmiştir. En yüksek ortalama sürtünme katsayısı değeri paslanmaz tel (EA) numunesinde, en düşük ortalama sürtünme katsayısı değeri rutil (EA) numunesinde tespit edilmiştir. Paslanmaz (MIG) ve paslanmaz (EA) numunelerinde diğer numunelerden daha yüksek ortalama sürtünme katsayısı değerleri belirlenmiştir. Aşınma oranları incelendiğinde, paslanmaz (EA) numunesi hariç diğer kaynaklı tamir edilmiş numunelerin tamamında, AISI 1050 numuneye göre aşınma performansında iyileşme elde edilmiştir. En düşük aşınma oranı SG2 (MIG) numunesinde elde edilmiş ve bu numunede aşınma direnci yaklaşık 3 kat artmıştır. En yüksek aşınma oranı tespit edilen paslanmaz (EA) numunesinde AISI 1050 numunesine oldukça yakın aşınma performansı tespit edilmiştir.



Şekil 5. Numunelerin Aşınma Oranı ve Ortalama Sürtünme Katsayısı Değerleri.

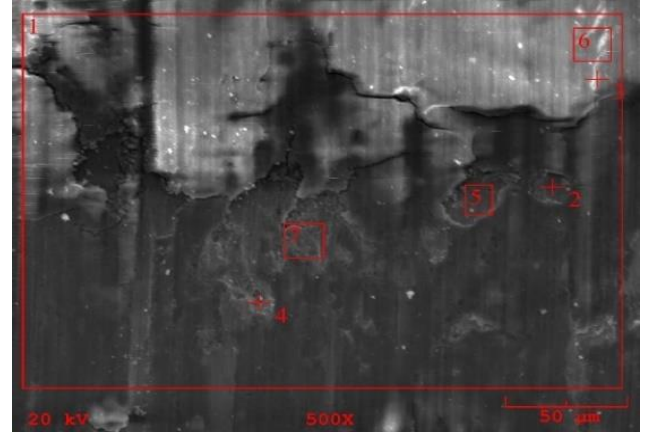
Aşınma deneylerinden sonra, kaynakla tamir edilmiş numuneler ve işlemsiz AISI 1050 numunesinin sürtünme davranışlarının ve aşınma mekanizmalarının belirlenebilmesi için aşınma kanalları SEM ve EDS analizi ile incelenmiştir. İşlemsiz AISI 1050 numunesine ait aşınma kanalı SEM görüntüsü ve EDS analizi sonuçları Şekil 6' da verilmiştir. Bu numunesinin aşınma kanalı SEM görüntülerinde abrasif aşınma izleri görülmektedir. Abrasif aşınma izleri aşındırıcı karşı cisim olarak kullanılan yüksek sertlikteki WC küre tarafından oluşturulmuştur. Aşınma kanalının EDS analizinde yüksek oksijen elementi tespit edilmiştir. Temas halindeki cisimlerin içinde bulunmayan oksijen elementinin varlığı, triboksit tabakalarının oluştuğunun ispatıdır. Temas halindeki cisimlerin sürtünmesiyle oluşan ısı, triboksit tabakaları üretimi ile sonuçlanmıştır. Oluşan triboksit tabakaları aşınma deneyinde belli bölgelerde yüzeyden kalkarak temas halindeki cisimler arasında üçüncü cisim gibi davranmış ve abrasif aşınmanın daha da şiddetlenmesine neden olmuştur. Ayrıca EDS analizi sonucunda aşınma kanalında tespit edilen W elementi aşındırıcı karşı cisimden AISI 1050 çeliğine malzeme transfer olduğu göstermektedir. Bu durum, aşınma deneyinde adhesif aşınmanın da etkili olduğunu göstermektedir. EDS analizi sonuçlarında bölge 4 kimyasal element dağılımı incelendiğinde, AISI 1050 çelik numunede bulunmayan yüksek W ve O elementlerinin varlığı triboksit tabakalarının bu elementleri içerdiğini doğrulamaktadır. Oluşan oksit tabakaları metal-metal temasını azaltarak sürtünme katsayısının da azalmasına neden olmuştur. Bu numunesinin ana aşınma mekanizmalarının abrasif, oksidatif ve adhesif olduğu yorumu yapılabilir.



Bölge	Elementler							
	Fe	C	Si	Mn	O	W	P	S
1	73.847	1.965	0.274	0.915	14.127	8.796	0.047	0.028
2	89.854	1.160	0.434	0.824	5.873	1.598	0.120	0.137
3	90.321	2.302	0	0.803	3.765	2.415	0.257	0.137
4	51.552	0	0.343	0.850	25.448	21.497	0.115	0.195
5	77.713	4.531	0.167	0.553	11.523	5.277	0.150	0.086
6	83.139	4.102	0.129	0.784	8.983	2.632	0.064	0.165
7	60.504	0.643	0.326	0.598	22.441	15.397	0.016	0.075

Şekil 6. İşlemsiz AISI 1050 Numunesinin Aşınma Kanalı SEM Görüntüsü ve EDS Analizi Sonuçları.

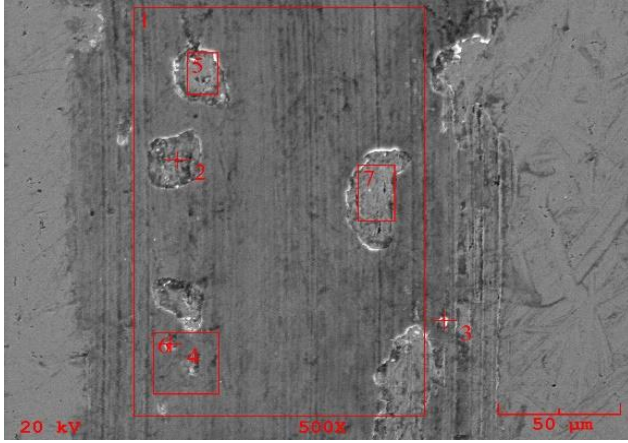
Paslanmaz (MIG) numunesinin aşınma kanalının SEM görüntüsü ve EDS analizi sonuçları Şekil 7' de verilmiştir. MIG kaynağı ile tamir edilmiş bu numunede EDS analizinde yüksek W içeriği tespit edilmiştir. Bu durum aşındırıcı karşı cisimden adhezyon mekanizması ile transfer olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda aşınma kanalının SEM görüntüsünde abrasif izler tespit edilmiştir. Bu numunenin sertlik değerindeki artış, abrasif aşınma mekanizmasının etkilerini bir miktar azaltmıştır. Numunenin EDS analizi sonuçlarındaki yüksek oksijen içeriği triboksit tabakalarının varlığını doğrulamaktadır. Oluşan triboksit tabakaları aşınma deneyi sırasında yüzeyden kalkarak aşınmanın şiddetlenmesine neden olmuştur. Ayrıca bu numunede tespit edilen, diğer numunelere oranla daha yüksek ortalama sürtünme katsayısının nedeni de budur. Yüzeyden kırılarak ayrılan oksit tabakaları metal-metal temasını engellemeyerek daha yüksek sürtünme katsayısına neden olmuştur.



Bölge	Elementler							
	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	O	W
1	44.560	0.686	0.723	0.746	12.028	4.653	25.416	11.188
2	61.044	1.081	0.637	1.520	17.143	6.972	8.115	3.488
3	39.197	0	0.784	1.095	9.967	4.437	30.718	13.802
4	64.311	0	0.692	1.446	17.776	7.816	5.376	2.584
5	61.810	0.263	0.648	1.240	16.810	6.635	8.780	3.814
6	39.034	0.531	1.114	0.960	10.666	3.866	29.312	14.519
7	52.061	1.670	0.424	1.017	15.189	5.968	16.875	6.797

Şekil 7. Paslanmaz (MIG) Numunesinin Aşınma Kanalı SEM Görüntüsü ve EDS Analizi Sonuçları.

SG2 (MIG) numunesinin aşınma kanalının SEM görüntüsü ve EDS analizi sonuçları Şekil 8' de verilmiştir. Bu numunenin aşınma kanalı SEM görüntüsünde ve EDS analizinde geniş bir bölgeye yayılmış kalın triboksit tabakaları tespit edilmiştir. EDS analizlerinde tespit edilen yüksek oksijen içeriği ile bu durum doğrulanmaktadır. Kuru şartlarda gerçekleştirilen aşınma deneylerinde uygulanan yük ve artan sürtünme mesafelerinin etkisiyle triboksit tabakalarının bir kısmı kırılarak yüzeyden ayrılmıştır. Oluşan triboksit tabakalarının az bir kısmı yüzeyden ayrıldığı için kalan oksit tabakaları metal-metal temasını engelleyerek düşük sürtünme katsayısının oluşmasını sağlamıştır. Benzer ortalama sürtünme katsayısı değerleri elde edilen işlemsiz AISI 1050 numunesinde de benzer triboksit tabakaları tespit edilmiştir. Ayrıca numunenin aşınma kanalı SEM görüntüsünde tespit edilen abrasif izler, ana aşınma mekanizmasında oksidatif aşınma ile birlikte abrasif aşınmanın da etkili olduğu göstermektedir.



Bölge	Elementler					
	Fe	C	Si	Mn	O	W
1	70.807	4.424	0.645	0.930	17.433	5.595
2	87.800	4.877	0.597	1.258	2.837	2.507
3	76.171	5.177	0.375	1.105	13.152	3.805
4	74.297	2.892	0.463	1.105	15.638	5.448
5	85.980	4.346	0.586	1.201	4.502	3.272
6	73.964	3.450	0.551	0.803	16.678	4.369
7	86.786	3.147	0.524	1.470	5.523	2.400

Şekil 8. SG2 (MIG) Numunesinin Aşınma Kanalı SEM Görüntüsü ve EDS Analizi Sonuçları.

Paslanmaz (EA) numunesinin aşınma kanalının SEM görüntüsü ve EDS analizi sonuçları Şekil 9' da verilmiştir. Bu numunenin aşınma kanalı incelemeleri sonucunda geniş abrasif izler ve ince triboksit tabakalarının varlığı tespit edilmiştir. Aşınma kanallarında tespit edilen triboksit tabakalarının varlığı EDS analizlerinde tespit edilen oksijen elementi varlığı ile ispatlanmıştır. Artan aşınma mesafesi ve yüklerin etkisi ile triboksit tabakaları kırılarak yüzeyden ayrılmıştır. Oksit tabakalarının aşınma yüzeyinden kalkması bu numunede diğer numunelere kıyasla daha yüksek sürtünme katsayısı oluşmasına neden olmuştur. Aynı zamanda yüzeyden kalkan triboksit tabakaları temas ara yüzeyinde kalarak üçüncü cisim gibi davranmış ve abrasif aşınmanın etkilerinin daha da şiddetlenmesine neden olmuştur. Bu nedenle bu numunede yüksek aşınma oranı ve sürtünme katsayısı belirlenmiştir. Bu numunede ana aşınma mekanizmasının abrasif ve oksidatif aşınma olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Rutil (EA) numunesinin aşınma kanalının SEM görüntüsü ve EDS analizi sonuçları Şekil 10' da verilmiştir. Bu numunenin aşınma kanalları SEM görüntüsünde diğer numunelere kıyasla daha az abrasif aşınma izi olduğu tespit edilmiştir. EDS analizi sonuçlarına göre geniş bir bölgede triboksit tabakalarının oluştuğu tespit edilmiştir. Az miktarda triboksit tabakası kırılarak yüzeyden kalkmış olsa da yüzeyin aşınma kanalının geniş bir bölgesinde kalan triboksit tabakaları metal-metal temasını azalttığı için sürtünme katsayısının azalmasını sağlamıştır. Bu nedenle

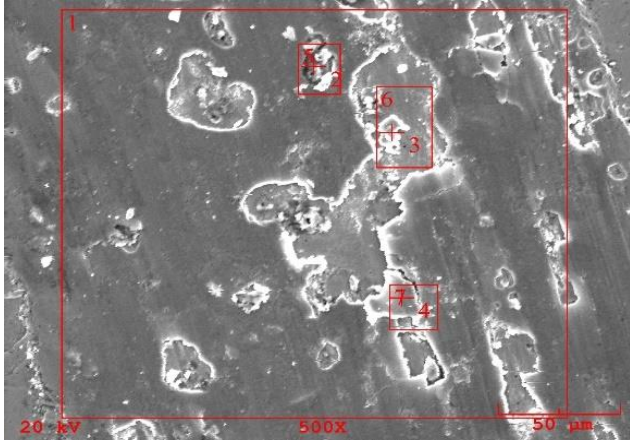
bu numunede en düşük sürtünme katsayısı değeri elde edilmiştir. Diğer numuneler ile kıyaslandığında bir miktar daha az W elementi tespit edildiği için adhesif aşınma etkisinin azaldığı yorumlanabilir. Bu nedenle bu numunedeki baskın aşınma mekanizmasının oksidatif aşınma olduğu ve yanında abrasif ve adhesif aşınmanın ise daha az etkili olduğu şeklinde yorumlanmıştır.



Bölge	Elementler							
	Fe	C	Si	Mn	Cr	O	W	Ni
1	64.203	1.467	0.398	0.634	12.849	11.784	2.998	5.666
2	48.670	4.800	0.449	0.310	9.791	27.415	4.608	3.956
3	70.366	0.513	0.502	0.730	13.401	6.503	1.747	6.237
4	53.730	0.760	0.248	0.359	11.238	19.510	9.271	4.883
5	54.622	3.841	0.366	0.740	11.126	20.385	4.166	4.754
6	57.055	1.166	0.582	0.103	12.085	20.539	3.348	5.121
7	67.413	1.111	0.151	0.529	13.802	6.317	3.860	6.817

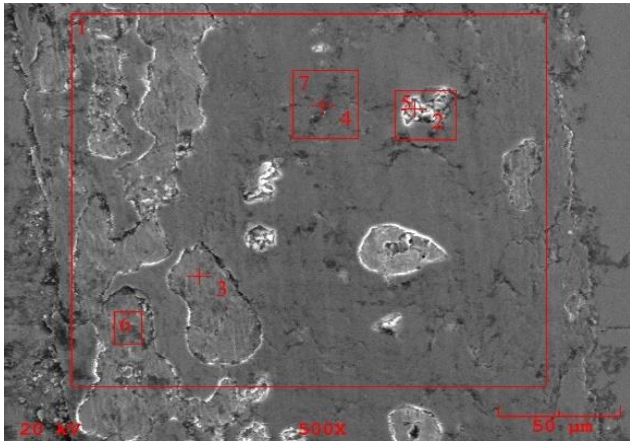
Şekil 9. Paslanmaz (EA) Numunesinin Aşınma Kanalı SEM Görüntüsü ve EDS Analizi Sonuçları.

Bazik (EA) numunesinin aşınma kanalının SEM görüntüsü ve EDS analizi sonuçları Şekil 11' de verilmiştir. Bu numunenin aşınma kanalı SEM ve EDS incelemelerinde geniş bir bölgeye yayılmış triboksit tabakaları tespit edilmiştir. Bu sonuç EDS analizindeki yüksek oksijen elementi varlığı ile doğrulanmıştır. Bu numunenin aşınma kanalı SEM görüntülerinde abrasif izler tespit edilmemiştir. Triboksit tabakaları kırılmadan aşınma yüzeyinde kaldığı için hem sürtünme katsayısının kısmen düşük olmasına sebep olmuştur, hem de ara yüzeyde üçüncü cisim gibi davranarak abrasif aşınmanın şiddetlenmesinin önüne geçmiştir. Bu nedenle bu numunede daha yüksek aşınma performansı elde edilmiştir. Aşınma kanallarının EDS analizinde aşındırıcı karşı cisimden adhezyonu gösteren W elementi bu numunede tespit edilmiştir. Bu nedenle bu numunede oksidatif aşınmanın yanında adhezyon aşınma mekanizmasının da etkili olduğu düşünülmektedir.



Bölge	Elementler					
	Fe	C	Si	Mn	O	W
1	75.608	2.593	0.085	0.530	19.497	1.687
2	60.714	11.435	0.106	0.334	25.962	1.448
3	96.704	0	0.029	0.467	1.168	1.631
4	74.162	1.297	0.052	0.479	22.336	1.674
5	68.315	5.732	0.235	0.477	23.385	1.855
6	80.443	3.596	0.390	0.419	13.108	2.044
7	74.438	2.093	0.287	0.434	20.754	1.994

Şekil 10. Rutil (EA) Numunesinin Aşınma Kanalı SEM Görüntüsü ve EDS Analizi Sonuçları.



Bölge	Elementler					
	Fe	C	Si	Mn	O	W
1	65.488	2.938	0.625	0.594	17.167	13.188
2	53.346	4.121	0.385	0.746	23.735	17.666
3	92.156	0.752	0.409	0.935	3.160	2.587
4	59.767	2.023	0.027	1.099	20.766	16.317
5	57.915	2.522	0.644	0.639	21.992	16.288
6	82.482	3.763	0.424	0.842	11.357	1.132
7	59.035	1.914	0.288	1.001	21.178	16.584

Şekil 11. Bazık (EA) Numunesinin Aşınma Kanalı SEM Görüntüsü ve EDS Analizi Sonuçları.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, hasarlı AISI 1050 çelik yüzeyi MIG ve EA kaynak yöntemleri ve beş farklı kaynak teli kullanılarak başarılı bir şekilde onarılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Tamir uygulamaları sonrası önemli bir mikroyapısal kusur oluşmamıştır. Bu durum tamir işlem ve parametrelerinin uygun seçildiğinin göstergesidir.
- Kaynaklı tamir edilmiş numunelerin tümünde ortalama mikrosertlik AISI 1050 çeliğinden yüksek çıkmıştır. En yüksek ortalama mikrosertlik değerleri yüksek Ni ve Cr içerikli paslanmaz kaynak dolgu tellerinde elde edilmiştir.
- Paslanmaz kaynak telleri ile yapılan kaynaklı tamir işlemlerinde sürtünme katsayısı değerleri daha yüksek ölçülmüştür. Bu numunelerin aşınma kanalı SEM ve EDS analizlerinde triboksit tabakalarının yüzeyden kırılarak kalktığı ve metal-metal temasını diğer numuneler kadar engellemediği tespit edilmiştir. Kırılan triboksit tabakaları temas ara yüzeyinde üçüncü cisim gibi davrandığından abrasif aşınmayı şiddetlendirmiş ve en yüksek aşınma oranlarının bu numunelerde oluşmasına neden olmuştur.
- Rutil kaynak teli ve EA ile kaynaklı tamir edilmiş numunede geniş bir bölgeye yayılan triboksit tabakaları sayesinde düşük sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiştir.
- En yüksek aşınma direnci MIG kaynak yöntemi ve SG2 kalite kaynak teli kullanılan numunede elde edilmiştir. Bu numunenin ana aşınma mekanizmaları oksidatif ve abrasif olarak belirlenmiştir.
- AISI 1050 çeliğinin kaynaklı tamir işlemlerinde kaynak tellerinin sürtünme ve aşınma performansı üzerinde oldukça etkili olduğu sonucuna varılmıştır. SG2 kaynak teli ile aşınma performansı yaklaşık 3 kat arttırılmıştır. Rutil ve bazık kaynak telleri ile ise sırasıyla aşınma performansları 2.2 ve 2.8 kat artmıştır.
- Deneysel çalışmalar ile elde edilen sonuçlar, uygun kaynak telleri ile tamir sonrası makine parçalarında daha uzun hizmet ömrü sağlanabileceğini göstermektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Koray KILIÇAY, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması; Mustafa Çağatay ERGENE, deney tasarımı, deney uygulaması; Salih Can DAYI, deneysel sonuçların derlenmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Ali Rizvi, S., ve Ali, W. (2023). Application of grey-based fuzzy logic algorithm in MIG welding-A case study. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 42, 101431. doi: 10.1016/j.jestch.2023.101431
- Arslan, M., ve Toplan, N. (2023). AA6061 Serisi Alüminyum Plakalarına Yapılan MIG ve TIG Kaynak Tamirlerinin Tahribatlı ve Tahribatsız Testlerle İncelenmesi. *Journal of Materials and Mechatronics: A*, 4(1), 333-354. doi: 10.55546/jmm.1284581
- Arunakumara, P. C., Sagar, H. N., Gautam, B., George, R., ve Rajeesh, S. (2023). A review study on fatigue behavior of aluminum 6061 T-6 and 6082 T-6 alloys welded by MIG and FS welding methods. *Materials Today: Proceedings*, 74, 293-301. doi: 10.1016/j.matpr.2022.08.242
- Ayan, Y., Sarı, E., ve Kahraman, N. (2018). 3B Metal Yazıcı Kullanılarak MIG-MAG Kaynak Yöntemi İle TamirOnarım Kaynak Uygulamasına Bir Örnek *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 1190-1199.
- Başıyigit, A. B. (2020). Alüminyum Esaslı Taşıt Jantlarının TIG Kaynak Yöntemi ile Tamiri Sonrası Kaynak Bölgesinin Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12(2), 388-396.
- Cui, X., Chen, J., Xia, C., Han, X., Su, H., ve Wu, C. (2023). The mechanism study of TIG-MIG hybrid welding process based on simulation. *Vacuum*, 215, 112341. doi: 10.1016/j.vacuum.2023.112341
- Das Banik, S., Kumar, S., Singh, P. K., ve Bhattacharya, S. (2022). Influence of weld repair on the residual stresses induced in austenitic stainless steel weld joints. *Production Engineering*, 17(1), 81-94. doi: 10.1007/s11740-022-01156-5
- Dement'yev, V. B., Sterkhov, M. Y., ve Solov'yev, S. D. (2020). Model of the hydrodynamic process of melting and crystallization of metal in the system 'electric arc - weld pool'. *Journal of Crystal Growth*, 531, 125335. doi: 10.1016/j.jcrysgro.2019.125335
- Farahani, E. B., Sarhadi, A., Alizadeh-Sh, M., Fæster, S., Danielsen, H. K., ve Eder, M. A. (2023). Thermomechanical modeling and experimental study of a multi-layer cast iron repair welding for weld-induced crack prediction. *Journal of Manufacturing Processes*, 104, 443-459. doi: 10.1016/j.jmapro.2023.08.059
- Farfan-Cabrera, L. I., Reséndiz-Calderón, C. D., Hernandez-Peña, A., Campos-Silva, I., Gallardo-Hernández, E. A., ve Contla-Pacheco, A. D. (2023). Tribological effects of boriding treatment on a low carbon steel repaired by wire and arc additive manufacturing. *Surface and Coatings Technology*, 465, 129574. doi: 10.1016/j.surfcoat.2023.129574
- Gagg, C. R., ve Lewis, P. R. (2007). Wear as a product failure mechanism - Overview and case studies. *Engineering Failure Analysis*, 14(8), 1618-1640. doi: 10.1016/j.engfailanal.2006.11.064
- Gupta, H. N., Gupta, R. C., ve Mittal, A. (2009). *Manufacturing Processes* (Second Edition ed.): New Age International Publishers.
- Hou, G., Xu, Y., Wang, S., Zhang, Y., She, J., Li, C., . . . Pan, F. (2022). Effects of welding wire composition on the repair welds of sand-cast Mg-Gd-Y alloy: Microstructure and mechanical properties. *Vacuum*, 199, 110919. doi: 10.1016/j.vacuum.2022.110919
- Lee, J.-H., Lee, C.-M., ve Kim, D.-H. (2022). Repair of damaged parts using wire arc additive manufacturing in machine tools. *Journal of Materials Research and Technology*, 16, 13-24. doi: 10.1016/j.jmrt.2021.11.156
- Li, S., Dong, H., Wang, X., Liu, Z., Tan, Z., Shangguan, L., . . . Zhong, S. (2020). Effect of repair welding on microstructure and mechanical properties of 7N01 aluminum alloy MIG welded joint. *Journal of Manufacturing Processes*, 54, 80-88. doi: 10.1016/j.jmapro.2020.03.009
- Li, Y., Han, Q., Horváth, I., ve Zhang, G. (2019). Repairing surface defects of metal parts by groove machining and wire + arc based filling. *Journal of Materials Processing Technology*, 274, 116268. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2019.116268
- Li, Z., Chai, L., Tang, Y., Zhang, C., Qi, L., Zhang, K., . . . Huang, C. (2023). 316L stainless steel repaired layers by weld surfacing and laser cladding on a 27SiMn steel: A comparative study of microstructures, corrosion, hardness and wear performances. *Journal of Materials Research and Technology*, 23, 2043-2053. doi: 10.1016/j.jmrt.2023.01.162
- Naing, T. H., ve Muangjumburee, P. (2022). Metallurgical and Mechanical Characterization of MIG Welded Repair Joints for 6082-T6 Aluminum Alloy with ER 4043 and ER 5356. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 75(6), 1583-1593. doi: 10.1007/s12666-022-02523-7
- Sahoo, A., ve Tripathy, S. (2021). Development in plasma arc welding process: A review. *Materials Today: Proceedings*, 41, 363-368. doi: 10.1016/j.matpr.2020.09.562

Singh, S., Kumar, V., Kumar, S., ve Kumar, A. (2022). Variant of MIG welding of similar and dissimilar metals: A review. *Materials Today: Proceedings*, 56, 3550-3555. doi: 10.1016/j.matpr.2021.11.287

Tesfaye, F. K., ve Getaneh, A. M. (2023). The Grey-Based Taguchi Method was used to enhance the TIG-MIG hybrid welding process parameters for mild steel. *Invention Disclosure*, 100016. doi: 10.1016/j.inv.2023.100016

Yurioka, N., ve Horii, Y. (2013). Recent developments in repair welding technologies in Japan. *Science and Technology of Welding and Joining*, 11(3), 255-264. doi: 10.1179/174329306x101382

CFD MODELLING OF THE DUST AND AIR VELOCITY BEHAVIOUR AT AN UNDERGROUND COAL MINE ROADWAY

Gülnaz DALOĞLU*

1 Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,
ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8646-7087>

Keywords	Abstract
Respirable dust, Air velocity, CFD modeling, Coal mine, Mine safety	<i>Dust pollution for ventilation systems is a big problem for mine workers in underground coal mines. The respirable dust concentration is important to the physical and spiritual health of miners. It is hazardous up to 2 mg/m³ in the air in underground coal galleries. In the present work, the airflow velocity and dust concentration values were measured at Çay 1-Kartıye roadway in Kozlu, Zonguldak. The goal of this research is modelling to the dust concentration and airflow velocity values by the computational fluid dynamics (CFD) method. An airflow and dust fluid and solid model was done using the Eulerian-Granular multiphase method with the k-epsilon two-equation model. The results showed that dust concentration values were too low and fixed. The error percentage of airflow velocity values changed between 5% and 17%. Thus, this roadway is safe for coal dust explorations.</i>

BİR YERALTI KÖMÜR MADENİ GALERİSİNDE TOZ VE HAVA HIZI DAVRANIŞININ CFD İLE MODELLENMESİ

Anahtar Kelimeler	Öz
Solunabilir toz Hava hızı CFD modelleme Kömür madeni Madenlerde iş güvenliği	<i>Havalandırma sistemlerinde toz kirliliği, yeraltı kömür madenlerinde maden çalışanları için büyük bir problemdir. Solunabilir toz konsantrasyonu, madencilerin fiziksel ve ruhsal sağlığı için önemlidir. Bu değer, yeraltı kömür madenlerindeki havada 2 mg/m³ üzerinde tehlikelidir. Bu çalışmada, hava hızı ve toz konsantrasyon değerleri Kozlu (Zonguldak) Çay-1 Kartıye galerisinde ölçülmüştür. Bu çalışmanın amacı, hesaplamalı akışkanlar metodu (CFD) ile toz konsantrasyonu ile hava hızını modellemektir. Bir hava akış-toz çift sıvı-katı modeli, k-epsilon iki-denklemler modeli ile Eulerian-Granular çoklu faz metodu kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlara göre; toz konsantrasyon değerleri çok düşük ve sabittir. Hava hız değerlerinin hata yüzdesi % 5 ile % 17 arasında değişmiştir. Bu sonuçlara göre, bu galerinin kömür tozu patlamaları açısından emniyetli olduğu söylenebilir.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 18.12.2023

Kabul Tarihi : 14.06.2024

* Sorumlu yazar: gdaloglu@ogu.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogumf.1406438>

Research Article

Submission Date : 18.12.2023

Accepted Date : 14.06.2024

1. Introduction

Coal is the most important energy source and will remain in the future. However, an underground coal mine is the most dangerous working area for miners since gas and dust explosions. Dust explosions are a process of combustible dust. The parameters influencing dust explosions are the particle size (distribution), the chemical properties of the dust, the initial and boundary conditions, the fuel-to-air ratio in the dust clouds, the turbulent flow conditions and the geometry of the process equipment (Ghaffari, Hoffman, Skjold, Eckhoff and Wingerden, 2019). Significant dust amount occurs during roadway development, longwall faces, and heading faces. The upper dust concentration

can result in a coal dust explosion and spontaneous combustion in mines. 87.32 % of China's 532 coal mines are dangerous for coal dust explosions according to statistics (Hu, Liao, Feng, Huang, Shao, Gao, and Hu, 2020). Additionally, dust is a reason for the black lung disease in the U.S. and Australian coal mines. In China, 777.173 pneumoconiosis cases occurred in 2014 and 26.730 new cases in 2016. (Wang, Li, Ren, Wu, Lin, and Shuang, 2019).

To effectively reduce dust-related accidents and the impact of dust on the health of workers, measures are taken during the mining process such as coal-seam water injection, physical chemistry prevention, spraying, foam and ventilation (Wang, Luo, Geng, Li, and



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/>).

Li, 2015). A good ventilation system is mandatory with the regulatory limits for safety and cost. A ventilation system accounts for up to 60% of the total operating cost. The high cost is needed for the power to supply the airflow in the mine (Candra, Pulung, and Sadashiv, 2014).

In Türkiye, the first regulation was issued about dust control in 1990. The Turkish Hardcoal Enterprise (TTK) has the biggest coal basins in Zonguldak (Fig.1) (Can, Kuşçu, and Mekik, 2012). It has five collieries, namely Kozlu, Amasra, Armutçuk, Üzülmöz and Karadon (Erol, Aydin, Didari, and Ural, 2013).

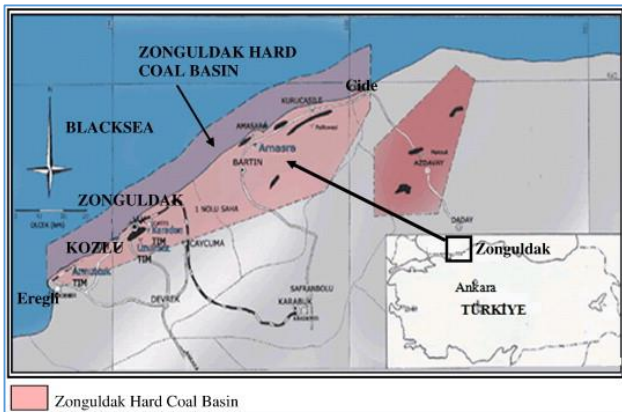


Fig.1. Geological Map of Zonguldak Coal Mines

Workplace respirable dust level monitoring was started in 1977 in Zonguldak coal basin. The threshold limit value (TLV) is limited to $5,0 \text{ mg/m}^3$ for respirable coal mines. The respirable dust concentration changes from $1,6$ to $14,5 \text{ mg/m}^3$ in the coal faces of TTK (Erol, Aydin, Didari, and Ural, 2013). A typical curve of the relationship between air velocity and dust concentration in roadways is shown in Fig. 2 (Ren, Wang, and Cooper, 2014).

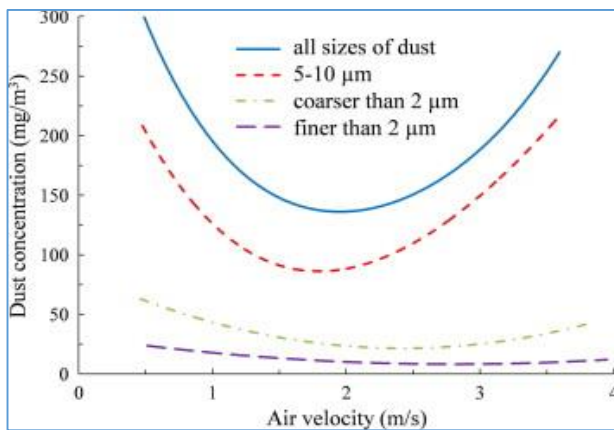


Fig.2. Graph of Trend Between Air Velocity and Dust Concentration.

In recent years, the Computational Fluid Dynamics (CFD) method has been commonly used to model underground mine applications. The studies in underground mines include; mine ventilation airflow patterns and recirculation of return into intake air, control of coal spontaneous heating and the dust, fire, optimization of gob inertization, methane management, measurement of turbulent diffusion, transit flow times through stopped areas, the effectiveness of auxiliary fans, estimation of volumetric flow rates and air leakage (Xu, Jong, Luxbacher, Ragab, and Karmis, 2015). Additionally, optimal conditions are suggested in the field of optimal design process. From an economical perspective, the CFD is an important tool for less energy consumption and costs of operating the fans and ventilation systems. This study is related with application of CFD method to an actual coal mine roadway.

2. Literature

Numerical models are effectively preferred to the gas-solid flow trends in coal mine roadways. Since the 1990s, the Computational Fluid Dynamics (CFD) method has effectively become common in solving problems of multiphase flow such as dust diffusion flow. The airflow behaviour affects the diffusion of dust particles and shows the dust problem in coal mines. Torano et al. researched dust behaviour and airflow velocity in two auxiliary ventilation systems by CFD methods. High dust concentration values were found in the zone of the road header loading and the vicinity of the machine operator (Torano, Torno, Menendez, and Gent, 2011). Ren et al. applied a new dust movement system in underground longwall faces, gallery and tunnel excavations by road reader. According to the results, respirable dust particles were reduced by up to 68% in the vicinity of the underground storage and 40% along the belt gallery (Ren, Wang, and Cooper, 2014). Zhou, Zhang, Bai, Fan and Wang (2017) modelled dust behaviour in Tongkou coal mine of the Zibo Mining. The average speed of respirable dust accessed to 91.06% in working areas. Yu, Cheng, Wu, Wang, and Xie (2017) modelled dust particles according to the k-epsilon two-equation turbulent model and the Hertz-Mindlin model by CFD-DEM simulation. Two top-speed airflow regions were composed in the vicinity of the tunnel floor and roof. Dust particles exhibit the same dust emission trends. Geng, Luo, Zhou, Zhao, Ma, Chai and Zhang (2017) studied the dust dispersion with Euler-Euler and the Euler-Lagrange methods in underground coal mines. Dust particles differ in different sizes. Prostanski (2015) developed a model about the dust in a protective zone of a longwall in Brzeszcze coal mine. Wang et al. (2019) detected respirable dust pollution properties by the CFD model in an underground heading face driven. Geng, Luo, Wang, Peng, Hu, Zhang, and Chai (2018) modelled dust contamination in ventilation systems during

underground coal mining. Zhang, Zhou, Qian, Yuan, Sun, and Wang (2018) simulated to spread behaviour properties of the respirable dust of a fully-mechanized face in Daliuta coal mine ventilation conditions under negative pressure. According to the results, a top-speed zone is shaped among the coal shearer and hydraulic pillars (Zhang et al., 2018). Hu et al. (2020) modelled ventilation velocity by the CFD method in coal mine roadways. In a result, the dust dispersion had decreased behind the road headers due to decreases in the airflow velocities. Wang et al. investigated the dust movement by the CFD method in a mechanized heading face (Wang, Luo, Geng, and Li, 2015). Wang and Ren (2013) simulated to diminish dust contamination in the air with the 3D CFD method in an underground coal mine. Stovern et al. modelled the dust transportation and emissions in the Iron King Mine tailings (Dewey-Humbolt, Arizona) to the surrounding region by the CFD method. According to the results, wind velocity profiles and the local topography are the main parameters in the model simulations (Stovern, Felix, Csavina, Rine, Russell, Jones, King, Betterton, and Saez, 2014). Xia et al. modelled the ventilation and dust suppression system by CFD in open-type TBM tunneling areas (Xia, Yuan, Hu, Wu, and Han, 2016). Candra, Pulung, and Sadashiv (2014) evaluated to movement of dust dispersion from the mining face by the CFD method. They used to combination of blowing and exhausting fans (Candra et al., 2014). Hurtado and Acura (2015) estimated the airflow volume of fans by CFD in the parallel installation in El Teniente Mine in Rancagua, Chile. Guo and Zhang (2014) modelled the critical velocity using CFD and FDS programs for tunnel fire under longitudinal ventilation. Sasmito, Birgersson, Ly, and Mujumdar (2013) predicted the dust in a room and pillar texture in an underground coal mine by CFD software. Air quality, quantity and cost of the ventilation system were represented (Sasmito et al., 2013). Torno, Torano, Ulecia, and Allende (2013) developed 4D models by CFD for blasting gas property in auxiliary ventilation of galleries (Torno et al., 2013). Xu, Luxbacher, Ragab, and Schafrik (2013) modelled the airflow and tracer distribution by CFD in an underground mine (Xu et al., 2013).

This study aims to investigate air velocity and dust behaviour in an underground coal roadway via Ansys-16.00 to improve the ventilation system and diminish the cost. The Euler granular method was used for gas and solid two-phase flow with the k-epsilon turbulence model. The modelling and measured results were compared with each other.

3. Study Area

The Çay V Kartiye 1 coal seam is a drift in the Kozlu coal basin in Zonguldak, Turkey. It has a 3 m. seam thick at a depth from the surface of 425/-930 m. and has a 215095

ton reserve. The coal gallery is 485 m. long (Fig. 3). The slope of the seam is 10°. It has a longwall caving mining method and wooden support. The coal heading is 485 m. long. The ventilation duct is fixed at 130 m from the gallery inlet.

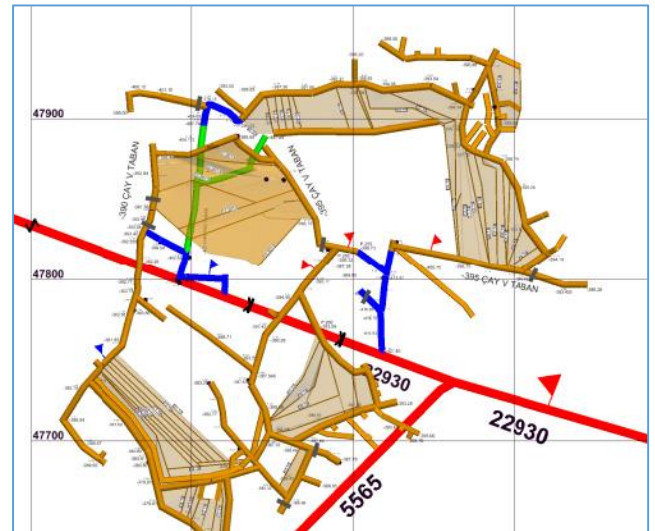


Fig. 3. The Çay V Kartiye-1 Coal Seam Plan.

Two fans were placed at 130 m. far from the entry. The forcing fan has 40 HP and the exhausting fan has 25 HP with a diameter of 600 mm. Dust measurements were taken with a dust sensor every day. The air velocity values were taken from the establishment. Inlet and outlet air velocity values were measured as 0.6 m/s.

4. Mathematical Model

Dust movements involve a gas-solid two-phase flow in a coal roadway. Two-phase flow is divided into the Euler-Euler and the Euler-Lagrange methods. The solid phase is continuous-phase in the Euler-Euler method. The solid phase is a dispersed-phase in the Euler-Lagrange method. Particles are examined in the particle phase (Geng, Luo, Zhou, Zhao, Ma, Chai, and Zhang, 2017).

4.1. Turbulence Model

The Reynolds number (Re) of airflow $>1 \times 10^6$, so the airflow is turbulent flow in the roadway. The model has the following assumptions: 1) the airflow is incompressible, 2) heat and mass transfer are disregarded, 3) the gravity is activated by 9.81 m/s^2 and 4) the continuum is under the assumption. The continuity equation of the airflow was in Equation 1 (Hu et al., 2020).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

Where; ρ is the density (kg/m^3), u_i represents the air velocities for the x,y,z directions (m/s) and x_i presents the coordinates in the x,y,z directions (m). The momentum equation of the airflow was in Equation. 2 (Hu et al., 2020).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_t) \left[\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] \right] \quad (2)$$

Where; p is the effective pressure of the turbulent flow (Pa), μ is the laminar flow viscosity coefficient (Pas), μ_t is the turbulent viscosity coefficient (Pas). The k -equation was in Equation 3 and the ϵ - equation was in Equation 4.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{C_{1\epsilon} \epsilon}{k} \left[\mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

Where; ϵ is the dissipation velocity of kinetic energy of the turbulent (m^2/s^3), k is the turbulent flow momentum (m^2/s^2), $C_{\mu}=0.09$, $\sigma_k=1.00$, $\sigma_\epsilon=1.30$, $C_{1\epsilon}=1.44$, $C_{2\epsilon}=1.92$ (Hu et al., 2020).

In Equation 5 and 6, dust particles are solved using the momentum equation.

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F \quad (5)$$

Where; u_p is the particle velocity vector, ρ and ρ_p are the density of fluid and particles (Ren et al., 2014).

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2 C_C} \quad (6)$$

Where; F_D is the drag force, C_C is the slip correction factor, d_p is the diameter of the particle and μ is the fluid's viscosity (Stovern, Felix, Csavina, Rine, Russell, Jones, King, Betterton, and Saez, 2014).

4.2. Computational Method

The airflow and coal dust dispersions were modelled as gas and solid two-phase flow. The steady solver, Standart k - ϵ two-equation model, k -epsilon viscous model and the SIMPLE algorithm were selected.

4.3. Boundary Conditions

There are three boundary conditions. They are inlet, outlet, and wall. The inlet of airflow is measured as 4.5 m^3/s at the forcing duct inlet and the outlet is 7.5 m^3/s . The velocity-inlet is 0,5 m/s and the outlet is 0 Pa pressure-outlet in modelling. Wall is a no-slip boundary

condition. The standard wall function was used at walls. Species were prescribed to zero. The temperature was 3000 K. The meshing of the model is carried out in the Ansys-16.00 program, achieving 174939 hexahedral cells and 222451 nods (Fig.4). The direction of flow was chosen along the Z-axis. The mesh quality is found 0,56. It is high quality because of closer to 0,8.

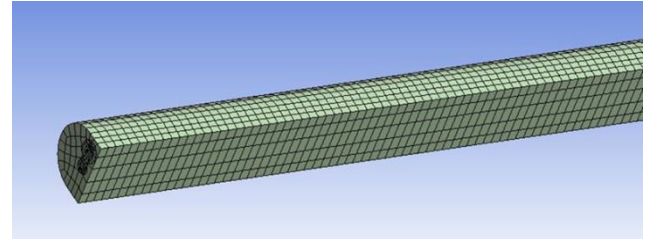


Fig. 4. Meshing of the Çay V Kartiye-1 Roadway.

5. Results

5.1. CFD Modelling of Air Velocity Behaviour

Lower airflow velocity zones are dangerous for gasses and dust accumulation. Thus, the airflow velocity should be measured in the gallery. The airflow velocity behaviour of the wall is 0 m/s because of no-slip boundary conditions in this model. The airflow behaviour contours of cross-section Z are shown in Fig. 5a-b.

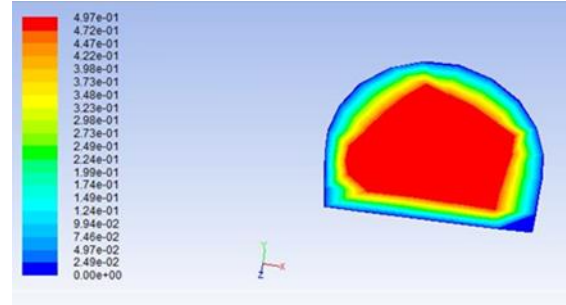
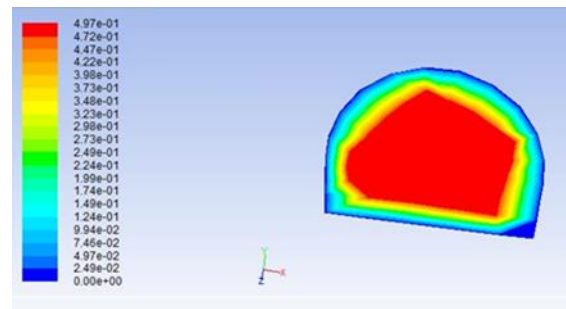


Fig. 5. a.) Contours of Airflow Inlet Velocity.



b.) Contours of Airflow Outlet Velocity.

According to modelling, the air velocity has a maximum value (0.497 m/s) in the inlet cross-section of the gallery. It decreases from the center to the gallery wall because of dust accumulation (Fig. 5a). The center of air velocity in the outlet cross-section of the roadway (0.571 m/s) is bigger than the center of air velocity in

the inlet cross-section of the gallery (Fig. 5b). Velocity magnitude and pathlines of airflow are shown in Fig. 6 and Fig. 7.

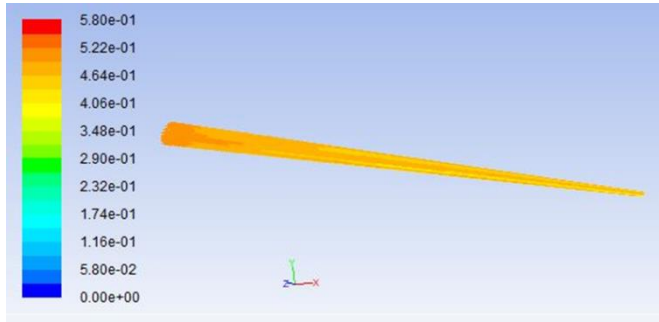


Fig. 6. Velocity Field of Air Flow.

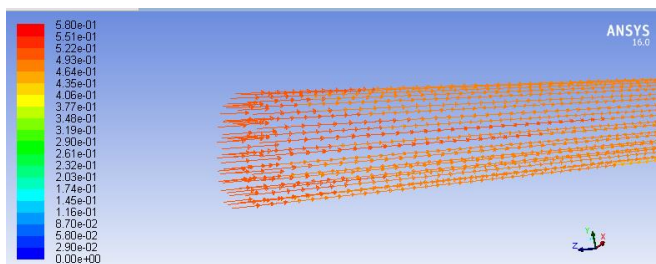


Fig. 7. Pathlines of Air Flow.

The air goes from the ventilation duct to the mining face (Fig. 6). The air velocity has a maximum value (0.58 m/s) and slightly increases to the outlet.

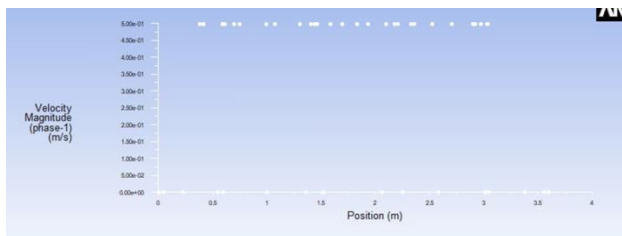


Fig. 8. Graph of the Airflow Inlet Velocity.

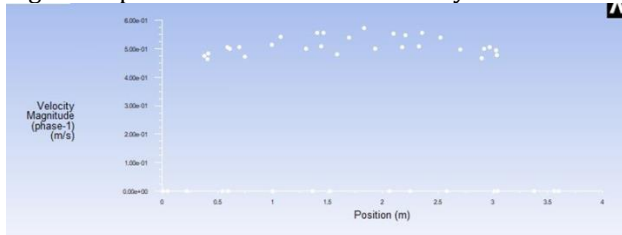


Fig. 9. Graph of the Airflow Outlet Velocity.

Airflow inlet velocity value is fixed (0.5 m/s) and airflow outlet velocity changes between 0.5 and 0.6 m/s (Fig.8-9). CFD and measured velocity values are compared in Table 1.

Table 1. Evaluation of Relationship Between the CFD and Measured Velocity Data.

Velocity (m/s)	Measured (m/s)	Modeling (m/s)	Error (%)
Inlet	0.6	0.6	17.17
Outlet	0.6	0.571	4.83

According to compared CFD and measured results, the inlet air velocity error is 17.17% and the outlet air velocity error is 4.83%.

5.2. CFD Modelling of The Respirable Dust Flow Behaviour

High dust concentration mainly gathers near the mining face, the roof and the top of the shearer (Zhou et al., 2017; Geng et al., 2018). Additionally, the length of the exhaust ventilation duct impacts dust dispersion (Geng, Luo, Wang, Peng, Hu, Zhang, and Chai, 2018). Dust concentration density is shown in Fig. 10.

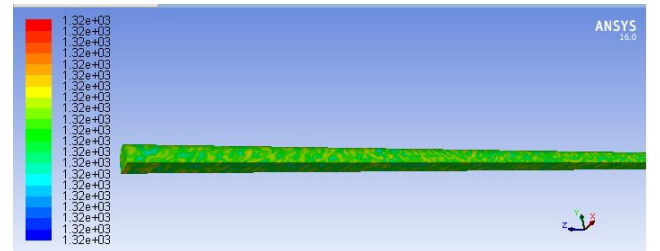


Fig. 10. Contours of Dust Concentration (kg/m³).

The dust concentrations were observed in the stable region. Dust dispersion occurs as an equal result of blowing and exhaust fans (Fig. 10). CFD dust concentration values were found as 0.0132 mg/m³. Thus, measured and modelling values are equal to each other.

6. Conclusions

The standard deviations of the model and measured values of the air velocities and dust concentrations behaviours were examined in this study. The results are summarized as below:

- 1) The airflow and turbulence are the key parameters to affect the dust dispersion. Two parallel fans were supplied to be less resistant and have more airflow. The difference between modelled and measured values can be explained by two factors: turbulence and shock losses. Additionally, losses will impact the fan's performance. The errors in the airflow velocity between the modelling and measured values were 4.83% and 17.17%. Airflows were displayed fewer increases to the outlet.

2) The dust mainly occurred by the shearer and the road header. The advancing support pollutes the mining area. Pollutants accumulate in the low-velocity zones and recirculation areas. Modelling and measured dust concentration values were found equal to each. This is an insignificant value (0.0132 mg/m^3) for dust hazards in the mine because it is so far below the limit safety value. Dust concentrations were under the limit due to sufficient ventilation and the position of fans. Thus, there isn't dust movement in the coal roadway.

3) There were no high-temperature heat sources such as coal mining machinery and shearer equipment. This condition has a positive effect on dust accumulation. Because the mine heat damage seriously affects the coal mine safety.

The computational fluid dynamics method shows an effective dust control system for personnel safety in the coal roadway. This approach is helpful for dust control in the coal roadways.

References

- Can, E., Kuşçu, Ş., and Mekik, C. (2012). Determination of Underground Mining Induced Displacements Using GPS Observations in Zonguldak-Kozlu Hard Coal Basin, *Int. Jou. of Coal Geology*, 89, 62-69.
- Candra, K.J., Pulung, S.A. and Sadashiv, M.A. (2014). Dust Dispersion and Management in Underground Mining Faces, *Int. Jou. of Mining Science and Tech.* 24, 39-44.
- Erol, I., Aydın, H., Didiari, V. and Ural, S. (2013). Pneumoconiosis and Quartz Content of Respirable Dusts in the Coal Mines in Zonguldak, Turkey, *Int. Jou. of Coal Geology*, 116-117, 26-35.
- Geng, F., Luo, G., Zhou, F., Zhao, P., Ma, L., Chai, H. and Zhang, T. (2017). Numerical Investigation of Dust Dispersion in a Coal Roadway with Hybrid Ventilation System, *Powder Technology*, 313; 260-271.
- Geng, F., Luo, G., Wang, Y., Peng, Z., Hu, S., Zhang, T. and Chai, H. (2018). Dust Dispersion in a Coal Roadway Driven by A Hybrid Ventilation System: A Numerical Study Fan, *Process Safety and Environmental Protection*, 113, 388-400.
- Ghaffari, M., Hoffman, A.C., Skjold, T., Eckhoff, R.K., and Wingerden, K.V. (2019). A Brief Review on the Effect of Particle Size on the Laminar Burning Velocity of Flammable Dust: Application in a CFD tool for Industrial Applications, *Jou. of Loss Prev. in the Process Industries*, 62, 103929.
- Guo, X, and Zhang, Q, (2014). Analytical Solution, Experimental Data and CFD Simulation for Longitudinal Tunnel Fire Ventilation, *Tunelling and Underground Space Technology*, 307-313.
- Hu, S, Liao, Q., Feng, G, Huang, Y., Shao, H., Gao, Y. and Hu, F. (2020). Influences of Ventilation Velocity on Dust Dispersion in Coal Roadways, *Powder Technology*, 360, 683-694.
- Hurtado, J.P. and Acuna, E.I. (2015). CFD analysis of 58 Adit Main Fans Parallel Installation for the 2015-2019 Underground Developments of the New Level Mine Project, *Applied Thermal Eng.*, 90, 1109-1118.
- Prostanski, D. (2015). Experimental Study of Coal Dust Deposition in Mine Workings with the Use of Empirical Models, *Journal of Sustainable Mining*, 14, 108-114.
- Ren, T., Wang, Z. and Cooper, G. (2014). CFD Modeling of Ventilation and Dust Flow Behaviour Above an Underground Bin and the Design of an Innovative Dust Mitigation System, *Tunelling and Underground Space Technology*, 41; 241-254.
- Sasmito A.P., Birgersson E., Ly H.C. and Mujumdar A.S. (2013). Some Approaches to Improve Ventilation system in Underground Coal Mines Environment-A Computattional Fluid Dynamic Study, *Tunelling and Underground Space Technology*, 34, 82-95.
- Stovern, M., Felix, O., Csavina, J., Rine, K., Russell, M.R., Jones, R.M., King, M., Betterton, E.A. and Saez, A.E, (2014). Simulation of Windblown Dust Transport from a Mine Tailings Impoundment using a Computational Fluid Dynamics Model, *Aeolian Research*, 14, 75-83.
- Torano, J., Torno, S., Menendez, M. and Gent, M. (2011). Auxiliary Ventilation in Mining Roadways Driven with Roadheaders: Validated CFD Modeling of Dust Behaviour, *Tunelling and Underground Space Technology*, 226, 201-210.
- Torno, S., Torano, J., Ulecia, M. and Allende, C., (2013). Conventional and Numerical Models of Blasting Gas Behaviour in Auxiliary Ventilation of Mining Headings, *Tunelling and Underground Space Technology*, 34, 73-81.
- Wang, Z., Li, S., Ren, T., Wu, J., Lin, H. and Shuang, H. (2019). Respirable Dust Pollution Characteristics within an Underground Heading Face Driven with Continuous Miner e A CFD Modelling Approach, *Journal of Cleaner Production*, 217, 267-283.
- Wang, Y., Luo, G., Geng, F., Li, Y. and Li, Y. (2015). Numerical Study on Dust Movement and Dust Distribution for Hybrid Ventilation System in a

Laneway of Coal Mine, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 36: p. 146-157.

Wang, Z. and Ren, T. (2013). Investigation of Airflow and Respirable Dust Flow Behaviour Above an Underground Bin, *Powder Technology*, 250, 103-114.

Xia, Y., Yuan, D., Hu, C., Wu, C. and Han, J. (2016). Numerical Simulation of Ventilation and Dust Suppression System for Open-type TBM Tunneling Work Area, *Tunelling and Underground Space Technology*, 56, 70-78.

Xu, G., Luxbacher, K.D., Ragab, S. and Schafrik, S. (2013). Development of a Remote Analysis Method for Underground Ventilation Systems Using Tracer Gas and CFD in a Simplified Laboratory Apparatus, *Tunelling and Underground Space Technology*, 33, 1-11.

Xu, G., Jong, E.C., Luxbacher, K.D., Ragab, S.A., and Karnis, M.E. (2015). Remote Characterization of Ventilation Systems using Tracer Gas and CFD in an Underground Mine, *Safety Science*, 74, 140-149.

Yu, H., Cheng, W., Wu, L., Wang, H. and Xie, Y. (2017). Mechanisms of Dust Diffuse Pollution Under Forced-Exhaust Ventilation in Fully-Mechanized Excavation Faces by CFD-DEM, *Powder Technology*, 317; 31-47.

Zhang, Q., Zhou, G., Qian, X., Yuan, M., Sun, Y. and Wang, D. (2018). Diffuse Pollution Characteristics of Respirable Dust in Fully-Mechanized Mining Face under Various Velocities Based on CFD Investigation, *Journal of Cleaner Production*, 184, 239-250.

Zhou, G., Zhang, Q., Bai, R., Fan, Y. and Wang, G. (2017). The Diffusion Behaviour Law of Respirable Dust at Fully Mechanized Caving Face in Coal Mine: CFD Numerical Simulation and Engineering Application, *Process Safety and Environmental Protection*, 106, 117-128.

ATIK YÜZ MASKESİNİN DÜŞÜK PLASTİSİTELİ KİL ZEMİNİN SERBEST BASINÇ MUKAVEMETİNE VE KAYMA DALGASI HIZINA ETKİSİ

Yağmur UZUNKAYA¹, Eren BALABAN², Burak GÖRGÜN^{3*}

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD,
ORCID No : <https://orcid.org/0009-0008-6561-7577>

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-9559-0127>

³Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-7681-863X>

Anahtar Kelimeler	Öz
Atık yüz maskesi Bender element Serbest basınç dayanımı Maksimum kayma modülü Zemin iyileştirilmesi	Covid-19 pandemisi ile birlikte dünya genelinde tek kullanımlık yüz maskesi kullanımı büyük artış göstermiştir. Bu kullanılan maskelerin artışı çevre için büyük tehdit oluşturmakla birlikte, bertaraf edilmesi de problem olarak ortaya çıkmıştır. Bu problemin çözümü için yüz maskelerinin zemin iyileştirmede kullanımının bir yöntem olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle 0,5*3 cm boyutlarındaki yüz maskeleri %0,2-0,4-0,6-0,8-1 oranlarında düşük plastisiteli kil ile karıştırılarak Bender element ve Serbest basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Yapılan serbest basınç deney sonuçlarına göre yüz maskesinin belirli bir orana kadar dayanımı arttırdığı, daha sonra ise dayanımı düşürdüğü görülmüştür. Yapılan bender element testlerine göre maske liflerinin yüksek birim hacim ağırlıkta kayma dalgası hızının azalmasına ancak düşük birim hacim ağırlığındaki numunelerde kayma dalgası hızının öncelikle arttığı, daha sonra azaldığı görülmüştür.

INFLUENCE OF WASTE FACE MASK ON UNCONFINED COMPRESSION TEST STRENGTH AND SHEAR WAVE VELOCITY OF LOW PLASTICITY CLAY

Keywords	Abstract
Waste face mask Bender element Unconfined compression strength Maximum shear modulus Soil improvement	Use of disposable face masks has increased significantly around the world with the Covid-19 pandemic. While the increase in these used masks poses a great threat to the environment, their disposal has also emerged as a problem. It was thought that the use of face masks in soil improvement would be a method to solve this problem. Therefore, 0.5*3 cm sized face masks were added to low plasticity clay with a ratio of 0.2-0.4-0.6-0.8-1%. Samples are prepared at different unit weights. Unconfined compression and bender element tests are conducted to determine the effects of face masks to strength and small strain stiffness. Unconfined compression test results showed that the face mask inclusion increased the strength up to a certain extent and then decreased the strength. Shear wave velocity of the samples decreased for high unit weights but, increased initially and then decreased in case of low unit weight samples.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 19.12.2023

: 29.04.2024

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 19.12.2023

: 29.04.2024

* Sorumlu yazar: burak.gorgun@bilecik.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1407114>

1. Giriş

İnşaat mühendisliğinde, yapıların inşası için hem yüksek bütçelere hem de uzun süreçlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Zemin, insanlık tarihi boyunca en yaygın kullanılan ve belki de en karmaşık yapı malzemesidir. Yapıların oturduğu zemin, güvenli yapı tasarımında büyük bir önem taşımaktadır. Artan nüfus ve şehirleşme dolayısıyla kullanılabilir alanlar azalmaktadır. Bu



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/>).

nedenle yapılacak olan yapılar için elverişli olmayan zeminlerin bulunduğu bölgelerde de inşaatlar yapılmaktadır. Böyle durumlarda zeminlerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bir zeminin deprem sırasındaki davranışını belirleyebilmek için öncelikle zeminin sınıfı, kıvam limitleri, dane çapı dağılımı, özgül ağırlığı gibi fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Eğer zemin, üzerine inşa edilen bir yapı için uygun değilse, bu yapının hasar görmesine neden olabilir ve orada bulunan insanların can ve mal güvenliğini tehlikeye atabilir. Geçmişte yaşanan depremlerden sonra yapıları en çok etkileyen parametrelerden birinin üzerine inşa edildikleri zeminin özellikleri olduğu görülmüştür. Deprem nedeniyle boşluk suyu basıncının artması ve bu boşluk suyu basınçları sonrasında oluşan oturmalar ile deprem sırasında zeminlerde meydana gelen yatay deformasyonlar, zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Ural, 2011). Bir taşıyıcı olarak zemin, üzerine inşa edilecek yapı için uygun özelliklere sahip olmadığı durumda, zemin özelliklerinin iyileştirilmesi ile çözüm elde edilebilir. Teknik nedenlerin yanı sıra, iyileştirilecek ortamın büyüklüğü, üzerindeki yapının önemi, kullanılacak malzemelerin tedarik koşulları, işin süresi ve maliyeti, işverenin tutumu gibi diğer faktörler de seçilecek iyileştirme yöntemini belirlemektedir. Kısaca zayıf zeminin iyileştirilmesindeki amaç; taşıma gücünün artırılması, stabilitenin sağlanması, zemin büyütme ve sıvılaştırma gibi problemlere karşı önlem alınması, zeminin kurutulması, korozyon ve erozyonun önlenmesi olarak sayılabilir. Konsolidasyon-deplasman esaslı titreşimli sıkıştırma, enjeksiyon, kontrollü kazı-dolgu, dinamik sıkıştırma, vibro-beton kolon, ahşap/precast kazık, delikli kazık gibi bilinen klasik yöntemlerin yanı sıra jet grout ve derin karıştırma yöntemleri gibi daha çağdaş zemin iyileştirme yöntemleri de mevcuttur. Zemine katkı maddeleri ekleyerek iyileştirme yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Günümüzde hızla artan insan nüfusu ve teknoloji ile birlikte çok sayıda atık ortaya çıkmaktadır. Son zamanlarda atık malzemelerin zemine katkı maddesi olarak kullanımı söz konusudur. Zemine istenilen özellikleri kazandırılması ve atık malzemelerin değerlendirilmesinden dolayı, atık malzemeler kullanılarak zemin iyileştirilmesi çok önemli bir konu haline gelmiştir. Tüm dünyayı etkisi altına alan pandeminin etkisinden korunmak için Dünya Sağlık Örgütü başta olmak üzere birçok ülkenin Sağlık Bakanlığı yetkilileri maske kullanımını tavsiye etmiş ve gerekli olduğunu vurgulamıştır (Dünya Sağlık Örgütü, 2020). Bu durum 2020 yılında dünya genelinde ayda 129 milyar maske kullanımına, ülkemizde ise günde 50 milyon kullanılmış maskenin tıbbi atık haline gelmesine yol açmıştır (Anadolu Ajansı, 2021). Maske kullanımıyla birlikte plastik üretiminde çok ciddi bir artış olmuş, 2015 yılında 381 milyon ton plastik üretilirken, plastik atıkların %55'i çöpe atılmış, %25'i yakılmış ve sadece

%20'si geri dönüştürülmüştür (Ak, 2020). Tıbbi atıkların geri dönüşümü uygun olmadığından, doğada 450 yıl kalan maskeler yakılarak bertaraf edilmektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021). Atık maskelerin yakılması ciddi karbon salınımına neden olarak küresel iklim değişikliğine karşı yapılan çalışmaları olumsuz olarak etkilemektedir. Atık maskelerin zeminin iyileştirilmesi amacıyla kullanılması hem bu karbon salınımının önüne geçecek hem de maskelerin doğaya atılmasını engelleyecektir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Son yıllarda pandeminin etkisi ile ortaya çıkan atık maskelerin yakılarak bertaraf edilmesi yerine zemin iyileştirmesinde kullanılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Rehman ve Khalid (2021) yaptıkları çalışmada kilin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla atık maske kullanmışlardır. Silis dumanı ve atık maske ile bunların ikili karışımlarını kullanarak kil zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Çalışmalarında tek eksenli basınç deneyi ile CBR deneylerini kullanmışlardır. CBR deneyinde 7, 14 ve 28 gün kürede bıraktıkları numuneler üzerinde analizler gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar kile maske ve silis dumanı ile bunların karışımlarını eklediklerinde kuru birim hacim ağırlığın azaldığını su muhtevasında ise artış olduğunu bulmuşlardır. Silis dumanı katılan numunelerde drenajsız kayma mukavemetinde artış meydana geldiğini ancak numunelerde ani yenilme gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Maske karışımlarının da benzer şekilde silis dumanı kadar olmasa da drenajsız kayma mukavemetini yükselttiğini belirten yazarlar %0.9'dan sonraki oranlarda ise serbest basınç dayanımının katkısız kile göre azaldığını söylemişlerdir. Aynı zamanda kile atık maske katılmasının yenilme davranışını değiştirmediğini belirten yazarlar maske ve silis dumanının beraber kullanılmasının da etkisinin bu yönde olduğunu söylemişlerdir. CBR deneyinde ise hem silis dumanının hem de atık maskenin bu değeri arttırdığını belirterek bu iki atığın karışımının ise CBR deneyinde en iyi değerleri verdiğini belirten yazarlar altyapı çalışmalarında kil ile bu karışımların kullanılabilirliğini ifade etmişlerdir (Rehman ve Khalid, 2021). Ullah ve diğ. 2023 yılında yaptıkları çalışmada kil zemine geopolimer küspe külü (GKK) ile geopolimer taşıcağı tozu (GTT) ve bunların yüz maskesi (YM) ile oluşturulan ikili karışımlarını (İK) ilave ederek numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca karışımların mikroyapı analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Fiziksel deneyler ile karışımların kıvam limitlerini tespit eden yazarlar, mekanik deneylerde ise tek eksenli basınç deneyi ile CBR (California Bearing Ratio) deneylerini kullanmışlardır. Mikroyapı analizlerini ise XRD, EDAX ve SEM analizi ile gerçekleştirmişlerdir. Kıvam limitleri deneylerinde GTT ve GKK katılmasının likit limit ve

plastik limit oranını düşürdüğünü belirtmişlerdir. 0, 7 ve 28 günlük kür uygulanan karışım numunelerinde yapılan CBR deneylerinde kür ile CBR değerinin arttığı en yüksek değer $\dot{I}K$ ile %0.2 YM karışımlarından elde ettiği görülmüştür. Bu durum tek eksenli basınç deneylerinde de benzer bulunmuştur. Drenajsız kayma mukavemeti değeri en yüksek $\dot{I}K$ ile %0.2 YM karışımlarında tespit edilmiştir. Tek eksenli basınç deneyinde 0, 3, 7 ve 28 günlük kürler uygulanmış ve kür oranı arttıkça karışımlarda drenajsız kayma mukavemetinin arttığı görülmüştür. İyapı analizlerinde yazarlar yenilmenin maskelerin bulunduğu yerlerden olduğunu belirtmişlerdir (Ullah, Khalid, Rehman, Shah, Khan ve Ijaz, 2023). Wang ve diğ. 2023 yılında yaptıkları çalışmada kil zemine eski ve yeni maskeler katarak karışımların geoteknik özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Fiziksel ve mekanik deneyler gerçekleştiren yazarlar, karışımların iç yapısını incelemek için SEM analizi yapmışlardır. Üç eksenli UU deneyi kullanarak yapılan incelemelerde, yeni maskenin çekme gerilmesinin eski maskeye göre %15 daha fazla olduğu, %0,1 oranındaki maskenin en yüksek kayma gerilmesine ulaştığı gözlemlenmiştir. Farklı çevre basınçlarında yapılan analizlerde, çevre basıncı azaldıkça maskelerin mukavemete etkisinin daha fazla olduğunun görüldüğü belirlenmiştir. %0,1 oranındaki maskelerde deviatör gerilmesinin %20 oranda arttığını belirten yazarlar, SEM analizinde ise maske şeritleri ile zemin taneleri arasındaki sürtünmeye bağlı olmak üzere zeminin kayma mukavemetinin arttığını belirtmişlerdir (Wang, Zhang, Wei, Wang ve Li, 2023). Ghadr ve diğ. yaptıkları çalışmada (2022) kum zeminlere maske katarak karışımların mekanik özelliklerinin değişimini üç eksenli CU deneyi ile incelemişlerdir. 30 adet farklı karışımlarla yapılan deneylerde maske oranı, maske boyutları ve efektif gerilme değiştirilerek incelemeler yapılmıştır. Maske ilavesinin kumun fiziksel özelliklerine etkisini incelemek amacıyla SEM analizi gerçekleştirmişlerdir. Ottawa kumu ve deniz kumu ile gerçekleştirilen üç eksenli deneylerde maske oranı arttıkça kayma mukavemetinin arttığı gözlenmiş olup, %0,5 oranında maske ilavesiyle en yüksek kayma mukavemetinin elde edildiği, bu orandan sonra ise düşüş olduğu gözlenmiştir. Artan maske oranının mukavemete etkisi maske uzunluğu arttıkça artış göstermiştir. Daha düşük efektif gerilmelerde maskenin mukavemete etkisinin daha fazla olduğu gözlenmiştir. Maske boyutundaki değişim ele alındığında, maske uzunluğu arttıkça başlangıçta boşluk suyu basıncında bir miktar artış olduğu, ardından büyük bir düşüş olduğu yazarlarca gözlemlenmiştir. Ayrıca maske oranındaki artışın, içsel sürtünme açısından artış meydana getirdiği görülmüştür (Ghadr, Chen, Liu ve Hung, 2022).

Cheng ve Leong (2018) yaptıkları çalışmada, zeminlerin sönüm oranını bender element deney sonuçlarını kullanarak belirlemiştir. Hilbert dönüşüm metodu

kullanılarak bender element deney sonuçlarından sönüm oranlarını elde etmişlerdir. Elde edilen sönüm oranları rezonant kolon deneyinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmaya göre bender element deneyi ve Hilbert dönüşümden elde edilen sönüm oranları ile rezonant kolon deneyi ile elde edilen sönüm oranları arasında oldukça az bir farkın olduğu görülmüştür (Cheng ve Leong, 2018). Khosravi ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada silt ile hazırlanan numunelerin değişen hidromekanik yükleme koşulları altında küçük deformasyon kayma modülünün değişimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, siltin doyunluğunun küçük deformasyon kayma modülünü etkilediğini göstermiştir. Kuruma sürecinde, siltin doyunluğu azaldıkça kayma modülü artmıştır. Bunun nedeni, suyun zemindeki etkileşimlerin önemli bir bileşeni olan kapiler gerilmelerin azalmasıdır (Khosravi, Hashemi, Ghadirianniari ve Khosravi, 2020). Kumar ve Shinde (2019) bender element test verilerini analiz etmek için yeni bir yöntem tanıtmıştır. Yazar kuru-doymuş kum ve cam boncuk üzerinde farklı şekillerde giriş frekansları, çevre basınçları ve boşluk oranları için bender element ve rezonans kolon testi yapmıştır. Önerilen yöntemden elde edilen verilerle rezonans kolon verileri karşılaştırmış ve sonuçların uyumunu gözetmiştir. Önerilen yöntemin bender element test verilerini başarıyla analiz ettiği ve rezonans kolon testleri ile uyumlu sonuçlar ürettiği vurgulanmaktadır (Kumar ve Shinde, 2019). Ingale ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada sonlu elemanlar yöntemine dayalı Abaqus isimli programda geliştirdikleri kod ile zemin kesme dalgası hızını bulmayı hedeflemişlerdir. Altı farklı zemin türü için yaptıkları bender element deneyleri ile elde edilen sonuçlar geliştirilen sonlu elemanlar yönteminden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların uyumlu oldukları görülmüştür (Ingale, Patel ve Mandal, 2020).

Literatürde yapılan çalışmalarda, yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre yüz maskesinin belirli bir yüzdeye kadar dayanımı arttırdığı, sonrasında artan yüz maskesi oranıyla dayanımın düştüğü görülmüştür. Yapılan bu çalışmada farklı oranlarda atık yüz maskesi ilave edilen düşük plastisiteli bir kilin düşük deformasyon altındaki kayma modülü bender element deneyleriyle elde edilmiştir. Yapılan serbest basınç testleriyle atık yüz maskesinin kilin serbest basınç dayanımına olan etkisi de ortaya konmuştur. Böylelikle atık yüz maskelerinin farklı oranlarda karıştırıldığı zeminin dinamik ve statik özelliklerini nasıl etkilediği ortaya konmuştur.

3. Yöntem

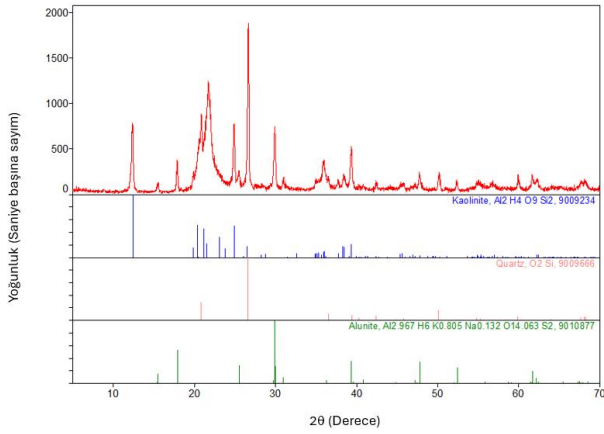
Yapılan bu çalışmada Balıkesir kaolini kullanılmıştır. Kaolin kilinin öncelikle özgül ağırlığı standarda göre belirlenmiştir (ASTM D854, 2014). Daha sonra plastik limit ve likit limit standarda göre belirlenmiştir (ASTM

D4318, 2018). Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Kilin Fiziksel Özellikleri

Özgül Ağırlık	Likit Limit	Plastik Limit	Plastisite İndeks
2,61	28	20	8

Çalışmada kullanılan kil numune üzerinde XRD analizi yapılarak içeriğindeki elementler belirlenmiştir (Şekil 1). XRD analiz sonuçları aşağıdaki Tablo 2'de verilmiştir.

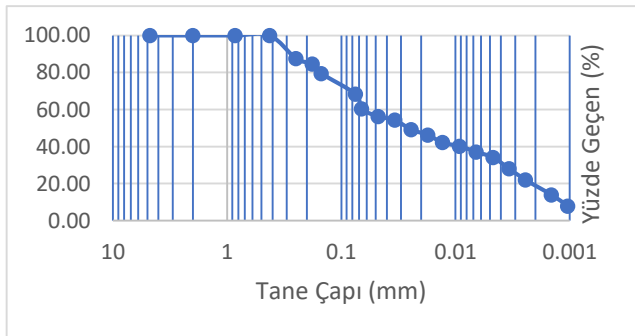


Şekil 1. Çalışmada Kullanılan Kilin XRD Grafiği

Tablo 2. Çalışmada Kullanılan Kilin Kimyasal Özellikleri

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	SO ₃ (%)
71,4	17,2	9,2	0,5	0,51	0,4	0,2	0,1	0,1
7	1	9	9	3	0	8	2	

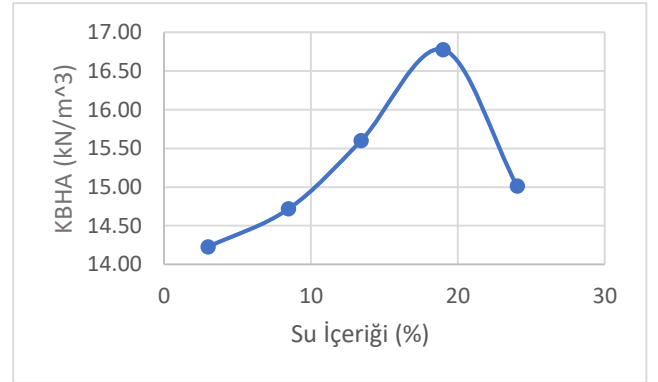
Kullanılan kilin granülometri eğrisi ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada Kullanılan Kilin Granülometri Eğrisi

Kullanılan numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevasının belirlenebilmesi için standart proktor deneyi yapılmıştır. Standart proktor deney sonuçlarına göre kullanılan numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığı (KBHA) 16,78

kN/m³ ve optimum su muhtevası ise %19 olarak bulunmuştur. Deney sonucunda elde edilen KBHA ve su muhtevası ilişkisi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3.Çalışmada Kullanılan Kile Ait Standart Proktor Eğrisi

Bender element ve serbest basınç deneylerinde kullanılacak numuneler, optimum su muhtevasında ancak farklı birim hacim ağırlıklarda olacak şekilde azaltılmış kompaksiyon yöntemiyle çapı 7 cm, boyu 14 cm olacak şekilde hazırlanmıştır (Daniel ve Benson, 1990; Güney ve diğ., 2008). Numune hazırlanırken sıkıştırma işlemi proktor tokmağı ile üç aşamada yapılmıştır.

Literatürde yapılan incelemeler kullanılan maske boyutlarının 1cm (Rehman Khalid, yıl, 1cm), Samadzadeh ve diğ., yıl, 2cm, Ghrdr ve diğ. 1-2cm) ile 2cm arasında değiştiğini göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan maske boyutları literatüre benzer ancak farklılık oluşturmak amacıyla 0.5-3cm olarak seçilmiştir.

Çalışmada kullanılan atık yüz maskeleri 0,5*3 cm boyutlarında olup numunenin kuru ağırlığının %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında karıştırılmıştır. Hazırlanan karışıma kilin optimum su muhtevası kadar su eklenmiş ve numuneler statik kompaksiyon yöntemiyle hazırlanmıştır. Farklı birim hacim ağırlıklarda numune hazırlanabilmesi için her bir tabakaya 5, 9 ve 11 vuruş yapılmıştır. Deneyler sırasında elde edilen sonuçları doğrulamak amacıyla üç adet özdeş numuneler hazırlanmış ve test edilmiştir. Hazırlanan numunelerin farklı vuruş sayılarına göre elde edilmiş birim hacim ağırlıkları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çalışma Sırasında Kullanılan Numunelerin Birim Hacim Ağırlıkları

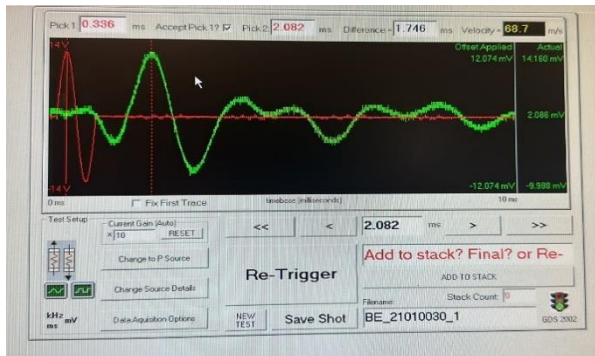
Maske İçeriği	5 Vuruş	9 Vuruş	11 Vuruş
%	ρ (gr/cm ³)	ρ (gr/cm ³)	ρ (gr/cm ³)
0	1,80	1,89	1,95
0,2	1,78	1,88	1,93
0,4	1,51	1,61	1,63
0,6	1,51	1,61	1,68
0,8	1,51	1,59	1,68
1	1,60	1,73	1,71

Bender element deneyi standarda uygun olarak ve GDS marka bender element deney seti kullanılarak yapılmıştır (ASTM D8295, 2019). Bender element deney aleti temel olarak iki parçadan oluşmaktadır. Her iki parçanın ucunda ise piezoelektrik malzemeler bulunmaktadır. Deney sırasında verici piezoelektrik malzemeye uygulanan voltaj ile kayma dalgası üretilmektedir. Üretilen bu kayma dalgası numune içerisinden geçerek alıcı proba ulaşır. Kayma dalgasının gönderildiği an ile alıcıda alındığı an arasındaki zaman farklı osiloskop yardımıyla belirlenir. Numune boyu önceden bilindiği için numunenin kayma dalgası hızı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$V_s = \frac{L}{t}$$

Burada V_s kayma dalgası hızı, L numune boyunu ve t ise kayma dalgasının numune içerisinden geçme süresidir.

Bender element deneyinde dalga periyodu 0,8 ms olarak seçilmiştir. Bender element deneyinde kayma dalgası hızı giriş sinyalinin pik noktası ve çıkış sinyalinin pik noktası seçilerek belirlenmiştir. Şekil -4'te örnek bir bender element test sonucu paylaşılmıştır. Hazırlanmış tüm numuneler üzerinde Serbest basınç deneyi standarda göre yapılmıştır (ASTM D2166, 2006). Serbest basınç deneyinde yükleme hızı 1mm/dak olarak seçilmiştir.



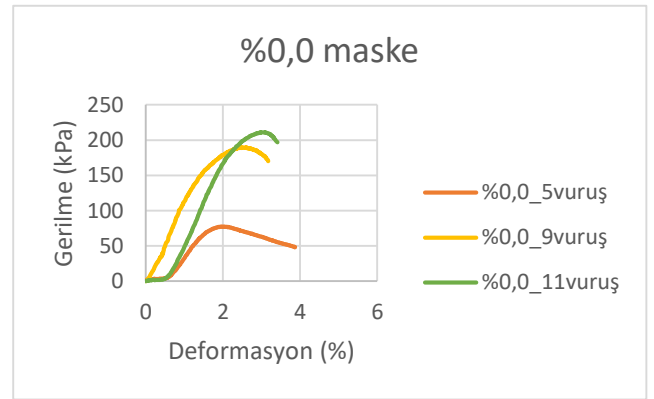
Şekil 4. Bender Element ile Kayma Dalgası Hızının Belirlenmesi

4. Bulgular

Yapılan serbest basınç ve bender element deneylerinde, zemine 0,5*3cm boyutlarında ve %0-0,2-0,4-0,6-0,8-1,0 farklı oranlarda katılan atık maske ilavesine bağlı olarak gerilme-deformasyon ve kayma hızı dalgası sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak bulunan değişim grafikleri Şekil4-Şekil 12 arasında verilmiştir.

Yapılan serbest basınç deneylerine göre, serbest basınç dayanımı numune yoğunluğu artarken artmaktadır. Benzer şekilde birim hacim ağırlık arttıkça numunelerin kırılma anındaki deformasyon miktarlarında da artış gözlenmiştir.

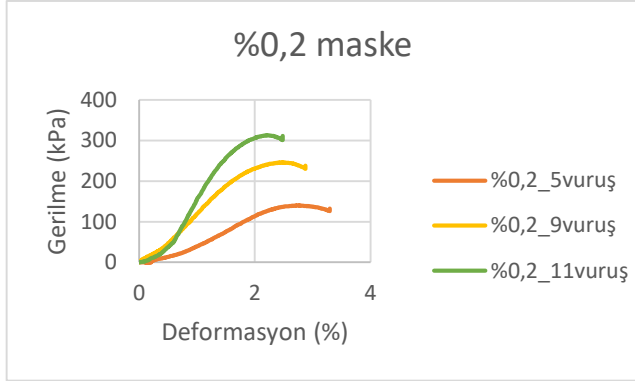
Şekil 5'de atık maske lifi ilavesiz numunelerin serbest basınç deney sonuçları verilmiştir. Vuruş sayısındaki artışla beraber, numune yoğunluğu artmıştır. Serbest basınç dayanımı en yüksek 11 vuruşla hazırlanan numunede 210 kPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 5. %0,0 Maske İlaveli ve 5-9-11 Vuruş Sayılı Serbest Basınç Numunelerinin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

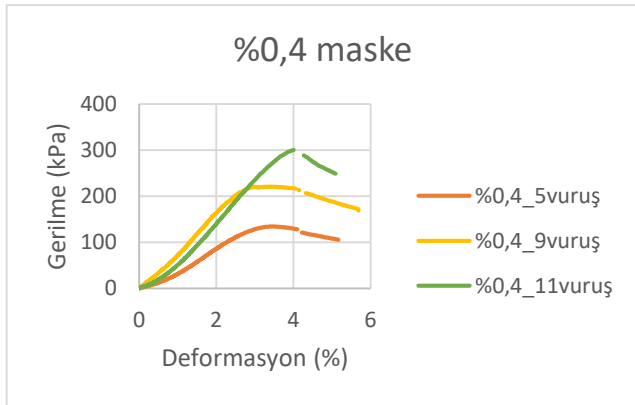
Şekil 5'e bakıldığı zaman en düşük mukavemete sahip numunelerin en düşük yoğunluğa sahip numuneler olduğu görülmüştür. Bununla birlikte yine Şekil 4'te görülebileceği üzere numune yoğunluğunun arttıkça numune sünekliği de artmıştır.

Farklı birim hacim ağırlıklarda oluşturulan ve %0,2 atık maske içeren numunelerin serbest basınç test sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'daki sonuçlara göre atık maskeli numunelerde artan birim hacim ağırlıkla birlikte serbest basınç dayanımı da artmıştır. En yüksek serbest basınç dayanımı ise 312 kPa olarak bulunmuştur.



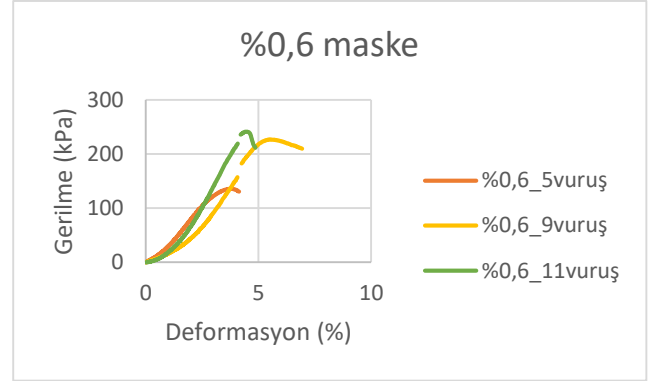
Şekil 6. %0,2 Maske İlaveli ve 5-9-11 Vuruş Sayılı Serbest Basınç Numunelerinin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

%0,4 atık maske içeren numunelerde de en yüksek serbest basınç değeri yoğunluğu en büyük olan numune de ölçülmüştür. Ölçülen en büyük serbest basınç dayanımı 300 kPa olmuştur. Numunelerin serbest basınç deneyi sırasında göstermiş oldukları gerilme-deformasyon eğrileri Şekil 7'de görülmektedir.



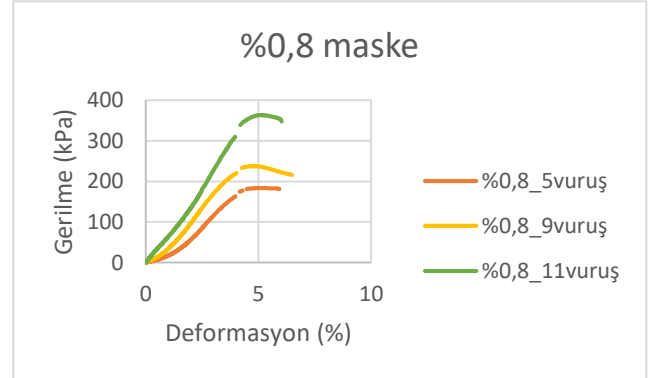
Şekil 7. %0,4 Maske İlaveli ve 5-9-11 Vuruş Sayılı Serbest Basınç Numunelerinin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

%0,6 atık maske lif ilaveli numunelerin serbest basınç dayanımının %0,4 atık maske içeren numunelere göre daha az olduğu Şekil 8'de görülürken, elde edilen en yüksek serbest basınç mukavemeti 239 kPa olmuştur. Numune yoğunluğu azaldıkça, serbest basınç mukavemet değeri de azalmıştır.



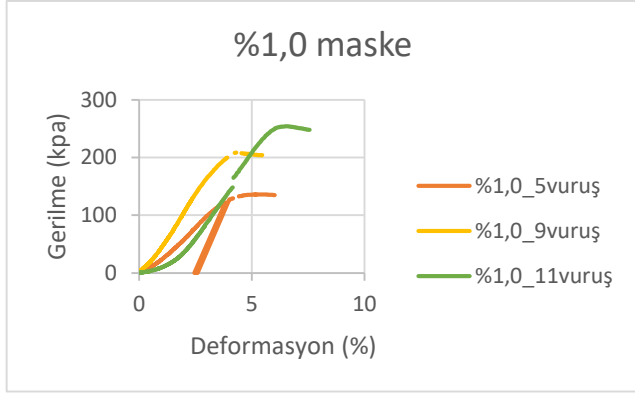
Şekil 8. %0,6 Maske İlaveli ve 5-9-11 Vuruş Sayılı Serbest Basınç Numunelerinin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

Atık maske oranı %0,6'dan %0,8'e çıktığı zaman serbest basınç değerlerinde oldukça büyük bir artış meydana gelmiştir. Meydana gelen bu artış ile birlikte en yüksek serbest basınç mukavemeti tüm birim hacim ağırlıklar için %0,8 atık maske içeren numunelerde görülmektedir. En yüksek birim hacim ağırlıkta hazırlanan numunenin serbest basınç mukavemeti 363 kPa olarak bulunmuştur. %0,8 atık maske içeren numunelerin serbest basınç mukavemet değerleri Şekil 9'da verilmiştir.



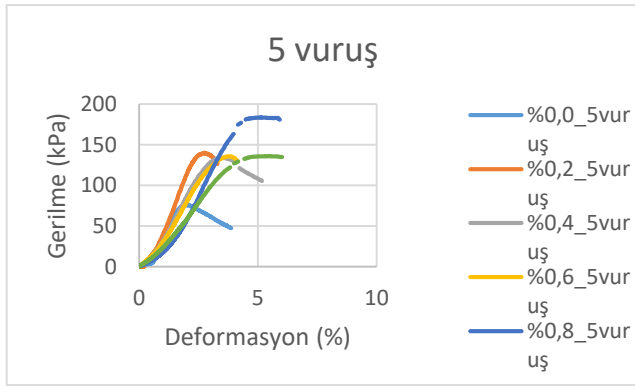
Şekil 9. %0,8 Maske İlaveli ve 5-9-11 Vuruş Sayılı Serbest Basınç Numunelerinin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

Şekil 10'da verilen %1 atık maske içerikli serbest basınç deney sonuçları görülmektedir. Verilere göre en yüksek gerilme değeri 11 vuruşla hazırlanan numune de 253 kPa olarak ölçülmüştür.



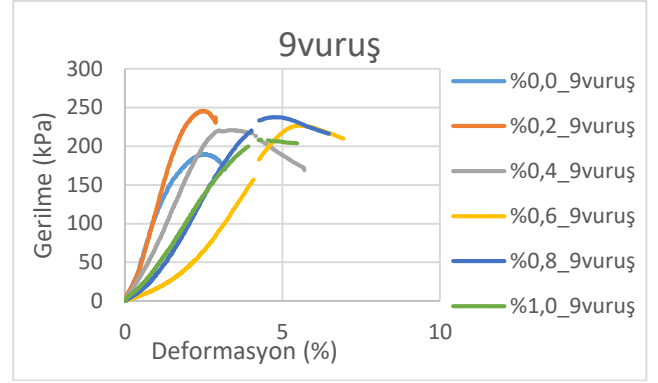
Şekil 10. %1,0 Maske İlaveli ve 5-9-11 Vuruş Sayılı Serbest Basınç Numunelerinin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

5 vuruş uygulanarak en düşük yoğunluğa sahip olacak şekilde oluşturulan numunelerin serbest basınç dayanımları Şekil 11’de verilmiştir. Deneyler sonucunda en yüksek serbest basınç dayanımı %0,8 atık maske lifi içeren numunede 183 kPa olarak bulunmuştur. Şekil 10’da görülebileceği üzere, atık maske ilavesi %0,8’lik orana kadar serbest basınç dayanımını arttırırken daha sonra düşmesine neden olmuştur. Atık maske lifi ilave edilen numunelerin kırılma anındaki deformasyon miktarının atık maske lifi arttıkça arttığı görülmüştür.



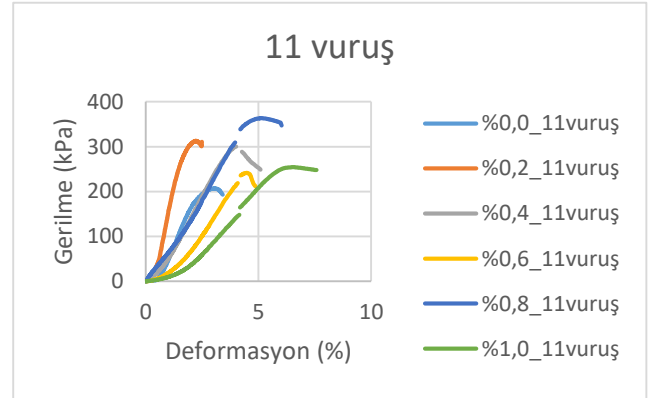
Şekil 11. Serbest Basınç Numunesi Vuruş Sayısı 5 ve %0,0-0,2-0,4-0,6-0,8-1,0 Maske Oranları ile Hazırlanan Numunelerin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

Şekil 12’de, 9 vuruş uygulanarak oluşturulan numunelerin serbest basınç grafikleri verilmiştir. Verilen değerlere göre en yüksek serbest basınç dayanımının %0,2 atık maske içeren numunelerde ortalama olarak 246 kPa olduğu görülmüştür. Numunelerde, atık maske oranı %0,6 olana kadar sünek kırılma meydana geldiği ancak atık maske oranının artmasıyla birlikte numunelerin daha gevrek bir şekilde kırıldığı görülmüştür.



Şekil 12. Serbest Basınç Numunesi Vuruş Sayısı 9 ve %0,0-0,2-0,4-0,6-0,8-1,0 Maske Oranları ile Hazırlanan Numunelerin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

Şekil 13’te, 11 vuruş uygulayarak en yüksek birim hacim ağırlıkta oluşturulan numunelerin serbest basınç dayanımı verilmiştir. Yapılan deneylerde en yüksek basınç dayanımının %0,8 atık maske ilaveli olan numunede 363 kPa olduğu gözlemlenmiştir.

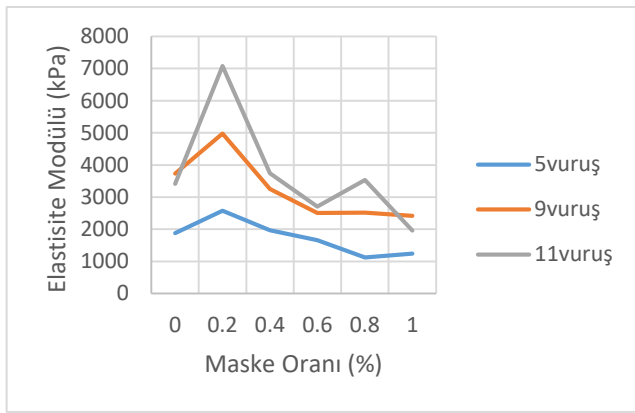


Şekil 13. Serbest Basınç Numunesi, Vuruş Sayısı 11 ve %0,0-0,2-0,4-0,6-0,8-1,0 Maske Oranları ile Hazırlanan Numunelerin Gerilme Dayanımı ve Deformasyon İlişkisi

Hazırlanan numunelerin elastisite modülleri incelendiği zaman numune yoğunluğu arttıkça elastisite modülünün arttığı görülmüştür. 11 vuruş yapılarak hazırlanan katkısız numune ile 9 vuruş ile hazırlanan katkısız numunenin elastisite modülünün hemen hemen aynı olduğu aşağıdaki Şekil 13’te görülmektedir. En düşük elastisite modülüne sahip numuneler ise tüm katkı oranları için 5 vuruş ile oluşturulan numuneler olduğu yine Şekil 13’te görülmektedir. Numunelere ilave edilen atık maske miktarı elastisite modülünde değişikliklere yol açmaktadır. Atık maske oranı %0,2 olduğu zaman farklı yoğunluğa sahip olan tüm numunelerde elastisite modülünün arttığı görülmüştür. Ancak en yüksek artışın 11 vuruş ile hazırlanan numunede olduğu görülmüştür.

Farklı vuruş sayıları ve farklı atık maske oranı ile yapılan deneylerin sonucunda en yüksek değeri alan numune içeriği %0,2 atık maske oranı ve 11 vuruş sayısı ile hazırlanan numune olduğu görülmüştür. Bu değer 7073 kPa olarak ölçülmüştür.

Daha sonra tüm numunelerde elastisite modülünün artan atık maske oranı ile birlikte azaldığı görülmüştür. Atık maske oranı %0,8'den %1'e çıktığı zaman elastisite modülünde meydana gelen azalma miktarının daha az olduğu Şekil 14'te görülmektedir. Bununla birlikte %0,8'lik atık maske katkısının en yoğun numunenin elastisite modülünde artış meydana getirdiği de görülmektedir.

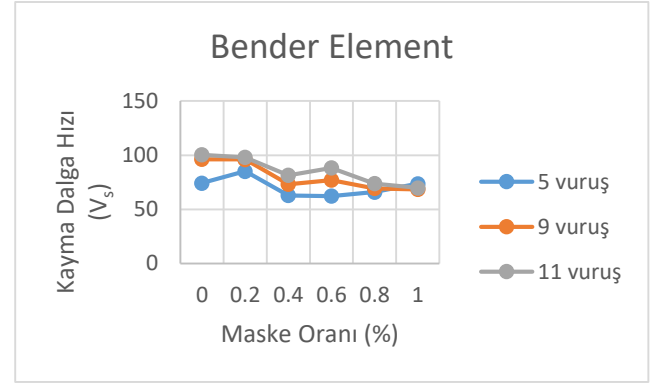


Şekil 14. 5-9-11 Vuruş Sayısı ile Hazırlanan Numunenin, %0,0-0,2-0,4-0,6-0,8-1,0 Oranlarda Maske İlaveli Elastisite Modülü Değerleri

Bender element deney sonucundan elde edilen kayma dalgası hızları Şekil 15'te verilmiştir. Kayma dalgası hızında meydana gelen değişimin de numune yoğunluğuna bağlı olduğu Şekil 14'te açık bir şekilde görülmektedir. Numune yoğunluğu en düşük olacak şekilde hazırlanan numunelerde %0,2 atık maske ilavesinin kayma dalgası hızını arttırdığı görülürken, 9 ve 11 vuruş yapılarak hazırlanan numunelerde kayma dalgası hızının %0,4 atık maske içeriğine kadar azaldığı görülmüştür. Ancak 5 vuruş yapılarak hazırlanan numunelerde ise kayma dalgası hızı %0,2 atık maske içeriği ile artmış ve %0,4 atık maske içeriği ile azalmıştır. Tüm farklı birim hacim ağırlıktaki numunelerde %0,6 atık maske oranının kayma dalgası hızını arttırdığı görülmektedir. %0,6 oranındaki atık maske oranından sonra kayma dalgası hızı 11 ve 9 vuruşluk numuneler için azalırken, 5 vuruşluk numunenin kayma dalgası hızının arttığı görülmüştür. %1'lik atık maske içeren tüm numunelerin kayma dalgası hızlarının hemen hemen aynı olduğu yine Şekil 14'te görülebilmektedir.

Yapılan tüm farklı deney sonuçlarına göre, en büyük kayma dalgası hızı değerinin atık maske ilavesiz 11

vuruşla hazırlanan numuneler olduğu anlaşılmıştır. Hız değeri 100 m/s olarak ölçülmüştür. %0,2 atık maske oranı ve 5 vuruş sayısı ile hazırlanan numunenin kayma dalgası hızında artış olduğu görülmüş, değeri 85 m/s olarak ölçülmüştür. En düşük değer olarak ölçümü yapılan 5 vuruş sayısı ve %0,6 atık maske oranı ilavesi ile yapılan numune deney sonucu 62 m/s'dir.



Şekil 15. Bender Element

Yapılan serbest basınç deneylerinden elde edilen önemli parametrelerden bir tanesi de numunelerin kırılma anında gösterdikleri deformasyon miktarlarıdır. Tablo 4'te farklı atık maske miktarları için numunelerin kırılma anındaki deformasyon miktarları verilmiştir. Tablo 4'e göre atık maske eklenen tüm numunelerin kırılma anındaki deformasyon miktarlarının arttığı görülmektedir. Artış kırılma anında meydana gelen artış miktarının da numune yoğunluğuna bağlı olduğu, numune yoğunluğu azaldıkça, kırılma anındaki deformasyon miktarında meydana gelen artış miktarının arttığı görülmektedir.

Tablo 4. Deformasyon Yüzdesi Değerleri

VURUŞ SAYISI	MASKE ORANI					
	0,00 %	0,20 %	0,40 %	0,60 %	0,80 %	1,00 %
5	2,00	2,72	3,41	3,81	5,11	5,46
9	2,61	2,47	3,40	5,55	4,71	4,31
11	3,03	2,21	4,01	4,45	5,15	6,50

5. Tartışma

Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre serbest basınç dayanımında en yüksek artışı meydana getiren atık maske oranının %0,8 olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonucun literatürde yer alan sınırlı sayıda çalışmaları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ullah ve diğ. (2023) yaptıkları çalışmada, en yüksek serbest basınç dayanımını %0,2 maske oranı ile yaptıkları numuneden elde etmişlerdir (Ullah ve diğ., 2023).

Atık maske ilavesindeki artış ile birlikte numunelerin yenilmeden önceki gerçekleştirdiği şekil değiştirme arttığı görülmüştür. Bunun sebebi ise numune içerisinde kırılmaya neden olacak olan çatlakların ilerlemesinin kullanılan atık maskeler tarafından engellenmesi veya geciktirilmesinden kaynaklanmaktadır. Numune üzerinde oluşacak olan veya ilerleyecek olan bu çatlaklar için daha fazla enerji gerektireceği için numunelerin hem dayanımında hem de kırılma anındaki deformasyon miktarında artış meydana gelmektedir.

Yapılan bender element deneylerinde 5 vuruş yapılarak oluşturulmuş numuneye %0,2'lik atık maske ilavesinin kayma dalgası hızını arttırdığı görülmüştür. Kayma dalgası hızının numune yoğunluğu ile ilgili olduğu literatürde yer alan çalışmalarda ifade edilmiştir (Jin vd., 2000; Hussien ve Karray, 2015; Anbazhagan vd., 2016). Dolayısıyla numuneye ilave edilen atık maske miktarının numunenin yoğunluğunda kayda değer bir değişim meydana getirmediği Tablo 3'te görülmektedir. Dolayısıyla eklenen atık maskelerin numunenin boşluk oranında azalma meydana getirerek kayma dalgası hızında artış meydana getirdiği düşünülmektedir. Ancak 9 ve 11 vuruş ile hazırlanan numunelerde eklenen atık maskelerin numune yoğunluğunda kayma dalgası hızında azalma meydana getirdiği görülmüştür. Ancak atık maske oranı %0,6 olduğu zaman kayma dalgası hızında bir artışa neden olmuştur. %0,6'lık atık maske içeriğinden sonra kayma dalgası hızında bir miktar daha düşüş olsa da artan atık maske oranıyla kayma dalgası hızının sabit kaldığı görülmektedir. Bunun sebebi ise, artan maske içeriğine rağmen numune yoğunluğunun önce neredeyse sabit kalması ve daha sonra artmasından kaynaklanmaktadır. Maske içeriğinin artmasıyla 11 ve 9 vuruşluk numunelerde birim hacim ağırlık artmasının sebebi ise kompaksiyon sırasında maskelerin enerjiyi numune içerisinde daha düzgün yayması ve bunun sonucunda daha iyi bir sıkışma sağlaması şeklinde değerlendirilmektedir. 5 vuruşluk numune de ise %0,6'lık atık maske oranından sonra numune birim hacim ağırlıklarının sabit kaldığı ve aynı zamanda kayma dalgası hızının artan atık maske oranıyla birlikte kayma dalgası hızının arttığı görülmüştür. Bunun sebebinin yukarıda 11 ve 9 vuruş ile hazırlanan numunelerle aynı olduğu düşünülmektedir.

Hesaplanan elastisite modüllerine bakıldığı zaman %0,2 atık maske katkısına sahip numunelerde tüm birim hacim ağırlıklarda en yüksek elastisite modülüne sahip oldukları görülmüştür. Atık maske miktarı daha da arttıkça elastisite modülünün düştüğü görülmüştür. Bu durum ise numunelerin kırılma anındaki deformasyonlarına bakılarak anlaşılabilir. Maske katkısız numunelerin kırılma anındaki deformasyonları ile %0,2 atık maske katılmış numunelerin kırılma anındaki deformasyon miktarları karşılaştırıldığı zaman %0,2 oranında maske katılmış

numunelerin kırılma anındaki deformasyonlarının daha düşük olduğu Tablo 4'te görülebilmektedir. Benzer şekilde Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12 incelendiği zaman %0,2 oranında atık maske katılan numunelerin dayanımlarının da maskesiz zeminlerin dayanımlarından yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle %0,2 oranında atık maske katılan numunelerin elastisite modülü maskesiz numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Ancak, artan maske oranıyla birlikte numunelerin kırılma anında meydana gelen deformasyon miktarında büyük artışlar meydana gelmiştir. Her ne kadar numunelerin mukavemetleri artsa da, kırılma anında meydana gelen deformasyonların artış miktarı dayanıma göre daha fazla olmasından dolayı elastisite modülü düşmüştür.

6. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada farklı oranlardaki atık maske ilavesinin düşük plastisiteli bir kilin kayma dalgası hızına ve serbest basınç mukavemetine olan etkileri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

Atık maske ilavesinin numune birim hacim ağırlığını azalttığı görülmüştür. Atık maskesiz numunenin birim hacim ağırlığı ne kadar yüksekse, atık maske ilavesi birim hacim ağırlığı o kadar fazla düşürmektedir.

Atık maske ilavesinin %0,8 olduğu zaman en yüksek serbest basınç mukavemeti elde edilmiştir.

Maske ilavesiz numunelerde 9 ve 11 vuruş ile hazırlanan numunelerin elastisite modülleri yaklaşık olarak birbirlerine eşit iken, 5 vuruş ile hazırlanan numunenin elastisite modülü en düşük olarak hesaplanmıştır.

Atık maske ilavesinin numunelerin kırılma anındaki deformasyonlarını arttırdığı görülmüştür.

9 ve 11 vuruşluk numunelerin kayma dalgası hızları atık maske ilavesiyle birlikte azalmaktadır.

5 vuruşluk numunelerde %0,2'lik atık maske ilavesi kayma dalgası hızını arttırırken daha fazla atık maske ilavesi kayma dalgası hızının azalmasına neden olmuştur.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Y. Uzunkaya, literatür araştırması, bu çalışmaya ait analizlerin yapılması, E. Balaban, sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması, B. Görgün, sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Ak, Ö. (2020). "COVID-19'un Başka Bir Sonucu: Plastik Salgını", TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 2020(10), 26-35.
- Anadolu Agency. (2021). "Dünyada 2020'de bir dakikada 3 milyon maske kullanıldı" <https://www.aa.com.tr/tr/info/infografik/25449>
Last Accessed: December 12, 2023
- Anbazhagan, P., Uday, A., Moustafa, S. S., & Al-Arifi, N. S. (2016). Correlation of densities with shear wave velocities and SPT N values. *Journal of Geophysics and Engineering*, 13(3), 320-341.
- ASTM D4318. (2018). "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils", ASTM International, West Conshohocken-PA, USA.
- ASTM D854. (2014). "Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer", ASTM International, West Conshohocken-PA, USA.
- ASTM D8295-19. (2019). "Standard Test Method for Determination of Shear Wave Velocity and Initial Shear Modulus in Soil Specimens Using Bender Elements", ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D2166. (2006). "Standard Specification for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil", West Conshohocken, PA, USA.
- Cheng, Z., & Leong, E. C. (2018). Determination of damping ratios for soils using bender element tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 111, 8-13.
- Daniel, D. E., & Benson, C. H. (1990). Water content-density criteria for compacted soil liners, *Journal of Geotechnical Engineering*, 116(12), 1811-1830.
- Ghadr, S., Chen, C. S., Liu, C. H., & Hung, C. (2022). Mechanical behavior of sands reinforced with shredded face masks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 81(8), 317.
- Guney, Y., Koparal, S., & Aydilek, A. H. (2008). Sepiolite as an alternative liner material in municipal solid waste landfills. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 134(8), 1166-1180.
- Hussien, M. N., & Karray, M. (2015). Shear wave velocity as a geotechnical parameter: an overview. *Canadian Geotechnical Journal*, 53(2), 252-272.
- Ingale, R., Patel, A., & Mandal, A. (2020). Numerical modelling of bender element test in soils. *Measurement*, 152, 107310.
- Jin, S., Cambois, G., & Vuillermoz, C. (2000). Shear-wave velocity and density estimation from PS-wave AVO analysis: Application to an OBS dataset from the North Sea. *Geophysics*, 65(5), 1446-1454.
- Khosravi, A., Hashemi, A., Ghadirianniari, S., & Khosravi, M. (2020). Variation of small-strain shear modulus of unsaturated silt under successive cycles of drying and wetting. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 146(7), 04020050.
- Kumar, J., & Shinde, N. S. (2019). Interpretation of bender element test results using sliding Fourier transform method. *Canadian Geotechnical Journal*, 56(12), 2004-2014.
- T.C. Ministry of Environment, Urbanisation and Climate Change. (2021). "2020/12 sayılı Bakanlık Genelgesi" https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/gn_g2020-16-cov-d-19-20200408101457.pdf Last Accessed: December 12, 2023
- T.C. Resmî Gazete. "Paris Anlaşması'nın Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun" <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/10/20211007.pdf> Last Accessed: December 1, 2023
- Ullah, I., Khalid, U., Shah, M. M., Khan, I., & Ijaz, N. (2023). Integrated recycling of geopolymerized quarry dust and bagasse ash with facemasks for the balanced amelioration of the fat clay: a multi-waste solution. *Environmental Earth Sciences*, 82(21), 1-21.
- Rehman, Z., & Khalid, U. (2021). Reuse of COVID-19 face mask for the amelioration of mechanical properties of fat clay: A novel solution to an emerging waste problem. *Science of The Total Environment*, 794, 148746.
- Ural, N. (2011). "Zemin Dinamiği Deneylerinde Bilgisayar Kontrollü Sistemlerin Kullanılması", 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ-Turkey, 35-39.
- Wang, Z., Zhang, W., Wei, M., Wang, P., & Li, D. (2023). Mechanical and deformation behavior of clay reinforced by discarded mask fibers. *Journal of Cleaner Production*, 428, 139485.
- World Health Organization. (2020). "Mask use in the context of COVID-19: interim guidance". <https://apps.who.int/iris/handle/10665/337199> Last Accessed: December 12, 2023.

AXIAL-LOAD EFFECT ON RC THIN PANELS USED FOR RETROFITTING OF RC FRAMESPınar TEYMÜR^{1*}¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5961-1020>

Keywords	Abstract
Reinforced Concrete Frame Axial Load Experimental Strengthening Thin Panel	<i>This paper aims to study the contribution of axial loads applied on reinforced concrete (RC walls to enhance contact at the interface between the beam and the wall in order to prevent massive failure in the surrounding frame with low concrete compressive strength. For this reason, the beams are curved upward in the middle at certain levels before the forming the RC walls. After the construction of the walls, the beams are freed so that the beams can exert axial loads on the walls. Four specimens are used in the experimental study. Three of them are bare RC frames retrofitted by using this technique; the fourth one is the one retrofitted with a regular panel and used as a reference specimen. No increase was observed in load carrying capacities of the specimens with axial loaded panels. However, more energy was dissipated by the specimens with axially loaded panels compared to the reference specimen.</i>

BA ÇERÇEVELERİNİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN BA İNCE PANELLERDE EKSENEL YÜK ETKİSİ

Anahtar Kelimeler	Öz
Betonarme Çerçeve Normal Yük Deneysel Güçlendirme İnce Panel	<i>Bu çalışma, betonarme duvarlara uygulanan eksenel yüklerin, düşük beton basınç dayanımına sahip çerçevenin ağır hasar görmesini önlemek için kiriş ile duvar arasındaki arayüzdeki teması arttırmaya katkısını araştırmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle kirişler, betonarme duvarların yapımından önce belirli seviyelerde ters sehim verilir. Duvarların yapımından sonra kirişler serbest bırakılır, böylece kirişler duvarlara eksenel yükler uygulayabilirler. Deneysel çalışmada dört adet numune kullanılmıştır. Bunlardan üçü, ter sehim işlemi kullanılarak güçlendirilmiş yalın BA çerçevelerdir; Dördüncüsü ise, üzerinde eksenel yükü olmayan ve referans numune olarak kullanılan bir panel ile güçlendirilmiş çerçevedir. Eksenel yüklü panellere sahip numunelerin yük taşıma kapasitelerinde artış gözlenmedi. Bununla birlikte, eksenel yüklü panellere sahip numuneler tarafından referans numuneye kıyasla daha fazla enerji soğurulmuştur.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 15.01.2024

: 24.06.2024

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 15.01.2024

: 24.06.2024

* Sorumlu yazar: teymurp@itu.edu.tr<https://doi.org/10.31796/ogumf.1419954>**1. Introduction**

Installing RC shear walls in RC buildings is a frequently applied retrofitting technique. The benefit of usage of shear walls is that these walls are effective in increasing the seismic performance of the structure. Nevertheless, the inadequate contact surface of these walls with the adjacent frame can cause massive shear failures along with undesired soft-story mechanisms at RC structures with low concrete compressive strength.

Much research has been done on shear walls (Erdem, Akyuz, Ersoy and Özcebe, 2006; Koutas, Pitytzogia, Triantafyllou and Bousias, 2014; Vetr, Yarmohamadi and Mohammadikish, 2022; Bastami, Salehi, Ghorbani and Moghadam, 2023; Khademi, Tehranizadeh and Shirkhani, 2023; Liang, Bai, Ma and Jiang, 2023; El-Azizy, Ezzeldin and El-Dakhkhni, 2023; Albutainy and

Galal, 2024) and the results show that the connection details between wall edges and beams/columns have major impact on the behavior of the overall structure. Deformation capacities of the walls can be increased by right amount of reinforcement and proper connection of them to beams and columns and so that full continuity between the frame and the wall interfaces increase the load carrying capacity of the frame. The results also state that brittle failure of shear walls or reduction in the ductility of the system can be caused by poor detailing which leads to deficiency of load transfer between old frame and new structural wall.

Considering strengthening of a RC building, there are many studies that show the advantages of adding RC shear walls to the other retrofitting techniques. However, limited experimental researches are currently available on the effectiveness of axial load



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/>).

acting on shear walls in retrofit of a reinforced concrete buildings.

Bastami et al. (2023) performed test on RC shear walls applying lateral load with increasing axial loads. Up to 10% increase in the axial load causes an increase in ductility and lateral resistance; however, beyond that level of axial load causes reduction in ductility. Du, Luo and Sun (2020) tested RC shear walls under two different levels of axial loads and cyclic lateral loads. Axial force decreased ductility, and energy absorption.

The work presented in Teymur and Pala (2018) investigates the effect of axial loads applied on shotcrete panels used for strengthening of RC frames with shotcrete panels. The experimental results state that the axial load exerted on the panel caused an increase in lateral resistance and the energy dissipation of the frames. This experiment was done only for one specific level of cambering.

In this study, four RC bare frames are used. The beams of the three RC bare frames are curved upward in the middle before strengthening with RC thin panels. During this process screw jacks are placed symmetrically at the front and at the back of the frame. When the panels have preserved their full strength, the screws are detached and the beams are freed resulting in an axial force on the panels. The aim of generating in-plane axial force on panels by means of creating upward deflection on the beam is to strengthen the interaction between the beam and the infill panel that helps the shear strength of the panel to increase, therefore, the damage to the frame members would be minimized. The fourth frame is the one retrofitted with a regular panel that is used as a reference specimen. The specimens are tested under displacement reversals with increasing intensity.

2. Method

Experiments has been performed to estimate the impact of axial load on the seismic performance of the frames.

2.1. Material Properties, Geometry and Detailing

Nearly 1/2 scale, one story, one bay RC frames with low concrete compressive strength were tested under constant vertical loads and lateral reversed cyclic loads. The frames are chosen to represent common deficiencies observed in residential buildings in Turkey. Cast-in-situ RC panels are used to form structural walls in the vulnerable frames.

Reverse deflection levels and concrete compressive strengths are summarized in Table 1 and other construction details are given below.

The columns are 20 cm by 25 cm and beam is 20 cm by 32.5 cm, as shown in Figure 1. The dimensions of the frames are 152.5 cm in height and 220 cm in width. The

dimensions of the panels are 120 cm in height and 170 cm in width as shown in Figure 1. Dimensions and reinforcement detail of the frames are presented in Figure 2. Main reinforcement of the frame is 16 mm steel bars which have average yield stress of 270 MPa.

RC panel consists of a wire mesh of $\phi 6$ mm steel bars and it has a 6 mm thickness given in Figure 2 having a yield stress of 320 MPa.

The reverse deflection amount is between $L/500$ and $L/(500/3)$ of the clear span length (L) of the frame are stated for each specimen in Table 1. The concrete compressive strengths of frames and the panels are also stated in Table1. Magnitudes of the reverse deflection are chosen below a certain level so that, during the process the cracks that will occur on the beam and the columns will be limited to small-scale so that no restoring will be required. According to the calculations made; longitudinal reinforcements, that are at the middle of the beam, yield at the reverse deflection levels which are larger than $L/(500/3)$.

Table 1. Reverse Deflection Levels

Specimen Name	Reverse Deflection Amount	Concrete Compressive Strength (MPa)	
		Frame	Panel
R	0	10	25
SP1	$L/500$	10	25
SP2	$L/(500/2)$	10	25
SP3	$L/(500/3)$	10	25

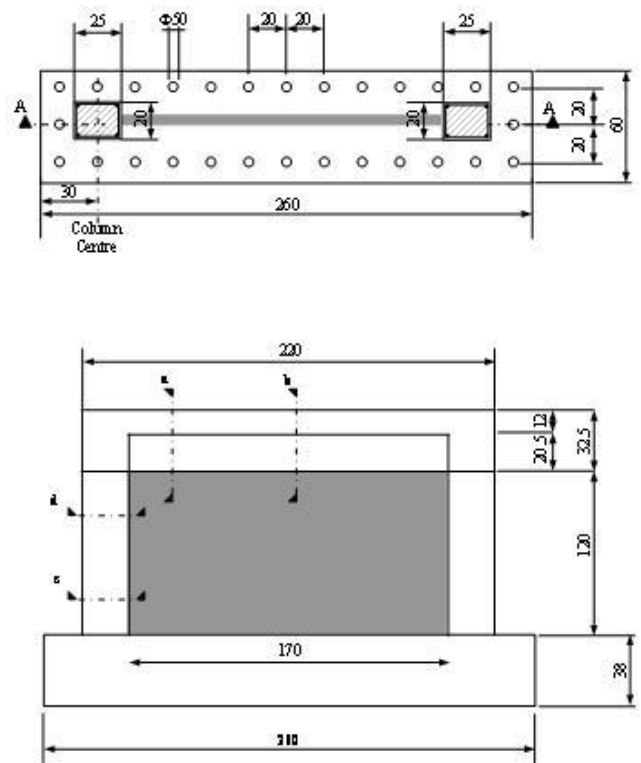


Figure 1. Dimension of the specimens

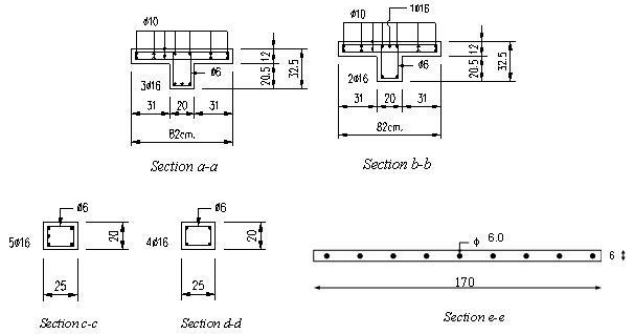


Figure 2. Detailed configuration of the reinforcement in frames and the panels

The wire mesh is connected to all four edges to the frame with anchorages. The details of the connection are shown in Figure 3. 20 cm part of the anchorages are buried in the panel and the rest is buried in the beam and the columns.

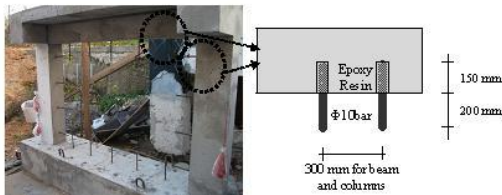


Figure 3. Details of anchorages

The beams of *SP1*, *SP2* and *SP3* are curved upward in the middle before the construction of the panels. This is done by using screw jacks that are placed symmetrically at the front and at the back of the frame. Throughout the process, deflection of the beam is measured with a displacement transducer simultaneously.

Bending cracks have occurred during the reverse deflection process at the middle of the beams of the specimens. The widths of the cracks are 0.4, 1.2, 1.6 mm for *SP1*, *SP2* and *SP3*, respectively. The bending cracks occurred at the columns were less than 0.1 mm.

The main reinforcement of the beams did not yield at *SP1*, *SP2*. However, at *SP3* the ones at the middle of the beam had yielded.

2.2. Test Setup and Load Protocol

Test-setup is shown in Figure 4. A hydraulic jack is used to apply a certain level of axial loads on the columns. Target displacement levels are applied by two MTS 250 kN-capacity hydraulic actuators. The lateral load pattern is given in Figure 5.



Figure 4. Test setup

Displacement reversals with increasing intensity were applied thrice for both pushing and pulling cycles to the specimens to simulate the effect of seismic action. The characteristic of the displacement reversals is recapped in Figure 5.

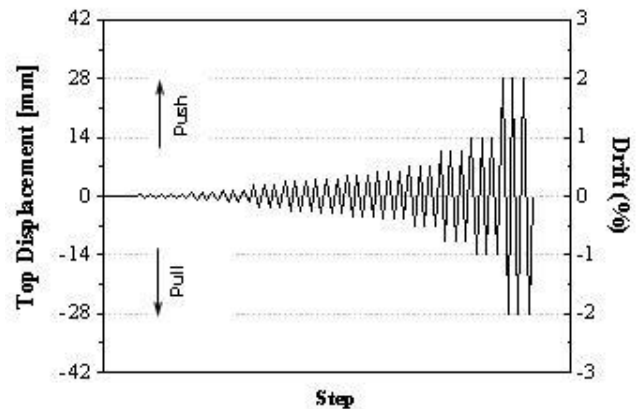


Figure 5. General load pattern

Displacement transducers are used to collect data at critical region. Strain gauges were attached to main reinforcement of both the columns and the beam, and several points on the panels.

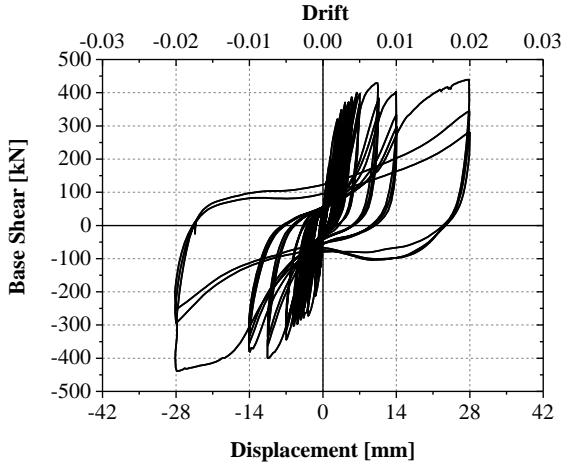
3. Experimental Results

The test results of the specimens are discussed here comparing ultimate load carrying capacities, failure modes, initial stiffnesses, and energy dissipation capacities.

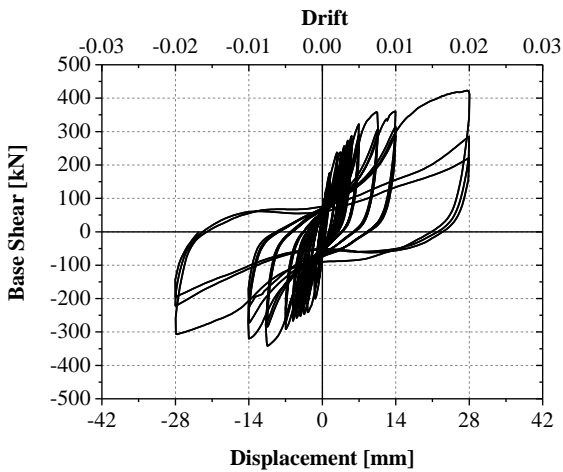
3.1. Lateral load carrying capacity

Figure 6 show the base shear versus top displacement relations for specimens *R*, *SP1*, *SP2* and *SP3*, while Table 2 through Table 4 summarises the maximum

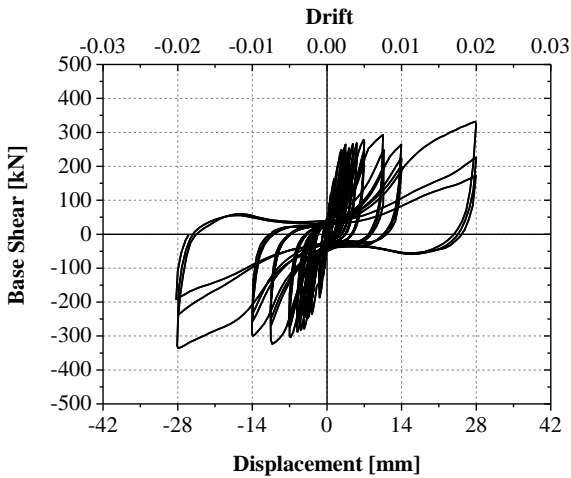
loads, P_{max} , obtained through out the experiments and the displacements, δ_{max} , correspond to them are given. The ultimate loads, P_{ult} , which correspond to the ultimate displacements, δ_{ult} , carried out.



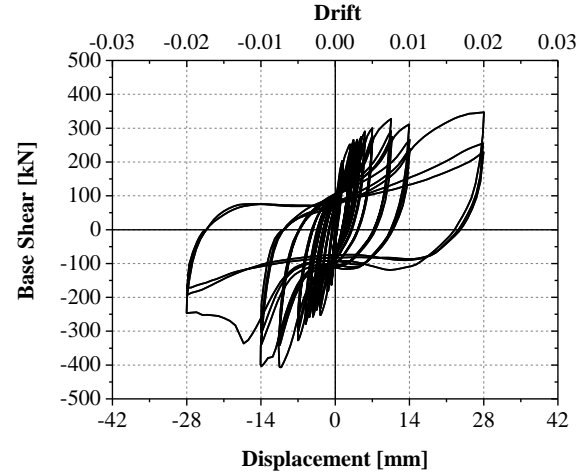
a)



b)



c)



d)

Figure 6. Base shear versus top displacement-drift relations of a) R, b) SP1, c) SP2, c) SP3

Table 2. Effect of retrofitting at pushing cycles

Specimen	+P _{max} (kN)	δ_{max} (mm)	Story Drift %
R	439.0	28.0	2.00
SP1	423.0	28.0	2.00
SP2	331.0	28.0	2.00
SP3	346.0	28.0	2.00

Table 3. Effect of retrofitting at pulling cycles

Specimen	-P _{max} (kN)	$-\delta_{max}$ (mm)	Story Drift %
R	-439.0	-28.0	2.00
SP1	-342.0	-10.5	0.75
SP2	-336.0	-28.0	2.00
SP3	-406.0	-10.5	0.75

Table 4. Effect of retrofitting at ultimate cycles

Specimen	+P _{ult} (kN)	-P _{ult} (kN)	δ_{ult} (mm)	Story Drift %
R	280.0	-254.0	28.0	2.00
SP1	220.0	-195.0	28.0	2.00
SP2	173.0	-192.0	28.0	2.00
SP3	229.0	-172.0	28.0	2.00

In the pushing cycles, first peak load was seen at drift of 0.75% and then a slight fall is observed during the cycles of the next target displacement. Afterwards it increases until the maximum load which occurred at 2% story drift.

In the pulling cycles, reference frame and SP2 are exhibiting the similar behaviour as they performed in the pushing cycles. However, in SP1 and SP3, maximum loads have occurred at drift of 0.75% and afterwards

strength degradations are observed. Strength degradations are observed after the shear cracks occurred on windward column, at the region between $1/3$ and $1/2$ of the column height. In addition, in SP3 concrete spalling is observed at the top end of the leeward column and anchorages are pulled away by the panel from the upper side of the windward column.

No increase was observed in load carrying capacities of the specimens with axial loaded panels compared with the reference specimen.

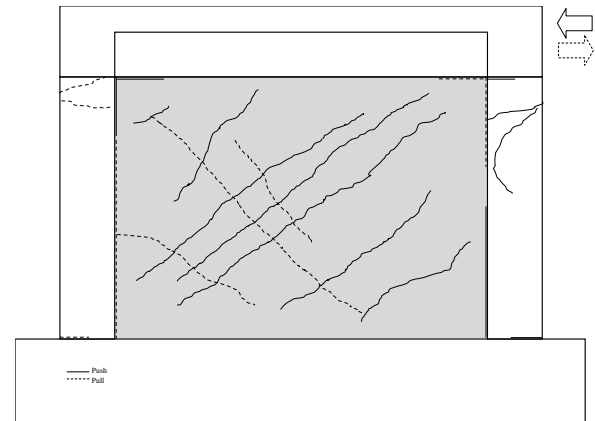
3.2. Failure modes

Figure 7 show crack patterns of all the specimens that have occurred during the tests.

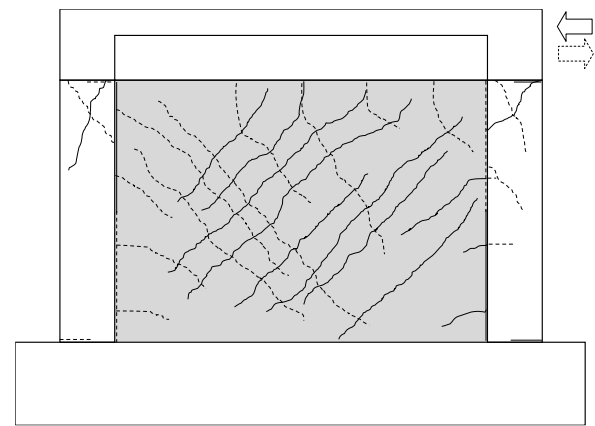
At the drift of 0.03%, the detachment of the panel from the frame members has started and this is observed at all specimens. The separations between the panel and the columns occurred at bottom right and top left of the panel in pushing cycles. In pulling cycles, it is observed at top right and bottom left of the panel. When the target displacement has increased, the detachment of the panel from the columns are slowly increased. In all specimens, their widths reach to 3.5 mm at final steps of the tests.

At the drift of 0.03%, first shear crack is observed at top part of the windward column in all specimens. A distinguishable strength reduction of the frame has been observed while severe increases in widths of the shear cracks are observed at top part of the columns at the last loading cycles. A conclusion can be made that the axial load applied on the panels, do not have an impact on the damage mode of the frames. Actually, since the frames have low concrete compressive strength and have weak columns, this kind of behaviour are to be expected.

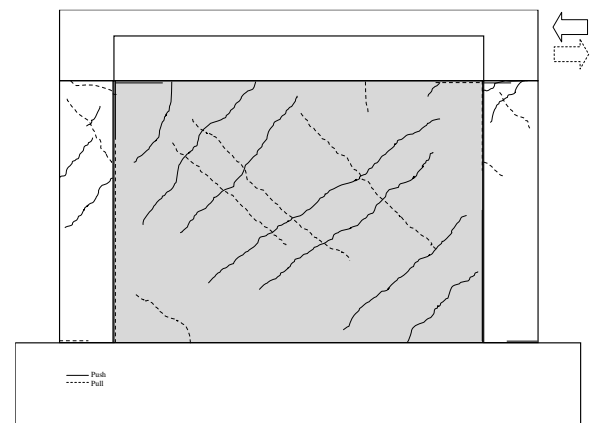
Members of the frames exhibit similar behaviours and failure modes. However more shear cracks were noted on panels. The widths of the cracks vary between 0.4-1.5 mm. After a while later, the inclined cracks joins with the cracks that formed along the anchorages of the beam and the columns. This can indicate that the axial loads imposed by the beams can cause the contiguity between the beam and the panel to work together for a longer time. Especially increased number of parallel inclined cracks at the panel of SP1 compared with the reference specimen's is a good example of this. Despite the fact that the columns had large shear cracks, the panels continued to resist lateral loads and they presented more ductile behaviour when exposed to axial loads.



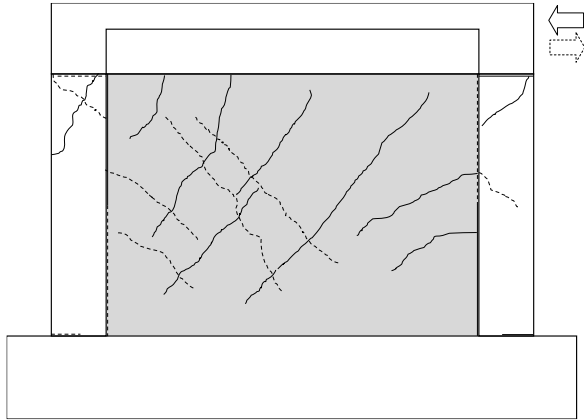
a)



b)



c)



d) Figure 7. The cumulative crack patterns of a) *R*, b) *SP1*, c) *SP2* d) *SP3*

Strains of longitudinal reinforcement versus the story drifts are drawn for the top section of both columns given in Figures 8 and 9. Maximum and minimum strain values that correspond to the drift levels are only shown in the following figures. Figures 8 (a) and 9 (a) shows that the longitudinal reinforcement in the reference frame yields. However, there is practically no yielding in the reinforcements of the other specimens as seen in the figures. Even if the strains of the reinforcement of *SP2* shown in Figure 8(c) reaches yielding which occurs at the last cycles of the largest drift, no significant yield deformation has been observed.

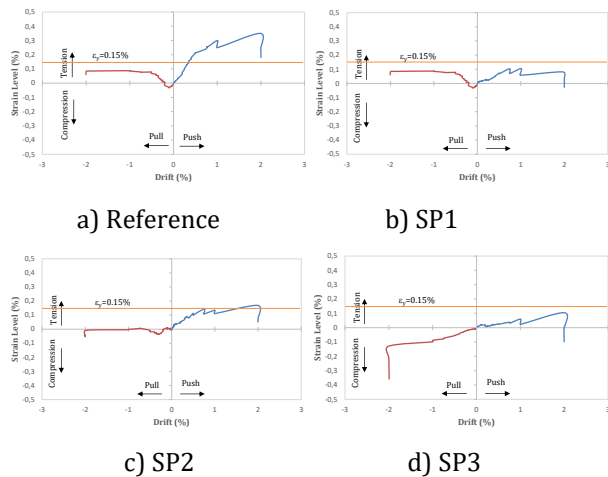


Figure 8. Longitudinal reinforcement strains versus the story drifts for the windward column

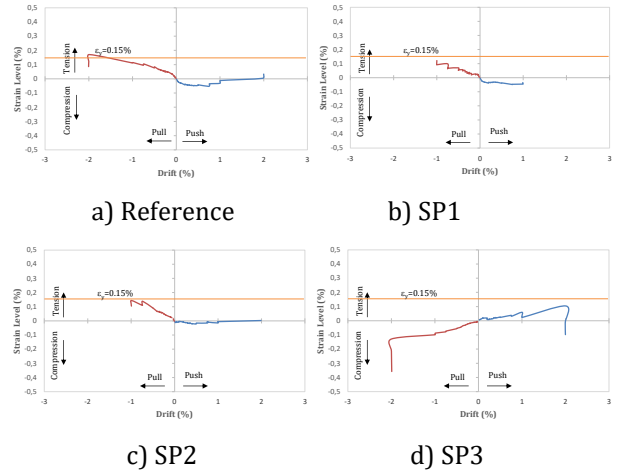


Figure 9. Longitudinal reinforcement strains versus the story drifts for the windward column

3.3 Lateral stiffnesses

The lateral stiffness of the frames increased by 30% and 40% for *SP1* and *SP3*, respectively, compared with the reference specimen's. While for *SP2*, it decreased by 30%. The author estimates the reason why lateral stiffness of *SP2* is less than the reference frame's, as the lack of adhesion between infill panel edges and surrounding frames.

3.4 Cumulative energy dissipation

The specimens with the axial-loaded panels' energy dissipation have increased by 5% in *SP1* and by 35% in *SP3* at 1% story drift level compared with the reference specimen, as shown in Figure 10. There is a 15% decrease occurred at *SP2*. Examining the damage of the panels of the specimens at this drift level, the number of inclined cracks on the panel of *SP2* are less than *SP1* and *SP3* and they did not join with the cracks that formed along the anchorages of the beam and the columns. Increase of energy dissipation by 10% for *SP3* was observed at 2% story drift level. There is a 10% and 25% decrease occurred at *SP1* and *SP2*, respectively. Examining the damage of the frame, the shear cracks are much more severe at *SP1* and *SP2* compared to *SP3*. This shows that anchorage of infill panel of *SP3* to the beam was firmly provided by means of axial load thanks to reverse deflection process.

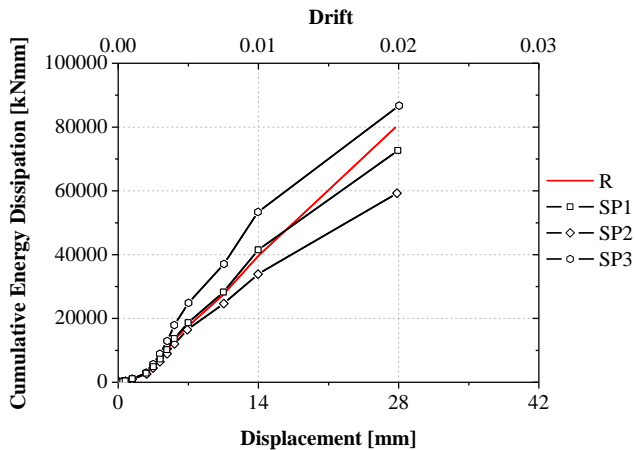


Figure 10. Cumulative energy capacities

4. Conclusion

In this experimental study, a reverse deflection technique was used to retrofit RC frames with low concrete compressive with RC thin panels. The idea was to increase interaction between the beam and the infill panel that helps the shear strength of the panel to increase, therefore, the damage to the frame members would be minimized. The experimental results of the frames compared with the reference frame are summarized below:

Seismic performance of the frames was not improved by using this reverse deflection technique.

The initial stiffnesses of the frames are increased by 30%-40%.

Cumulative energy dissipations of the specimens with the axial-loaded panels are increased by 5%- 35% at 1% story drift level but decreased by 10%-25% and 2% story drift level.

Due to lack of inelastic deformation capacities of RC beam and columns, the axial load exerted on the panels does not have an impact on the seismic performance of the frame. Failure mode of the frame was governed by the diagonal shear cracks and concrete crushing of the frames. It is recommended that before the construction of the panels, the columns and beam-column joints are needed to be strengthened as well.

Even though the frames of all three specimens is damaged heavily, the panel continued to carry the lateral loads.

The disadvantage of the reverse deflection process is that it is not very clear how much load is exerted by the beam on the panel. So, it is hard to estimate the level of axial load applied on the panels.

This paper tried to determine the effect of axial load on RC panels. It has been demonstrated that although the axial force acting on the panel does not have any impact on the dominant mechanism of failure, it

improves the initial stiffness and the energy dissipation capacity of the frame. Increasing research on application of axial load on RC panels with different methods and their use in design is important for introducing advanced retrofitting techniques and increasing their practical applications. It is recommended to test different methods for applying axial loads on RC panels in future studies.

Acknowledgement

The experimental part of this study was carried out in the Structural and Earthquake Engineering Laboratory of Istanbul Technical University. The study was sponsored by research project number 34774 of Istanbul Technical University (ITU) Research Funds.

Contribution of Researchers

Literature review, methodology, preparation of the research project, preparation of the test specimens, analysis of the test data and writing of the paper is all done by the author.

Conflict of Interest

The author declares that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- Teymür, P. and Pala, S. (2018). Seismic strengthening of slightly damaged RC frames using axially loaded shotcreted panels. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1), 38-47. doi: 10.7212/2Fzkufbd.v8i1.697
- Bastami, M., Salehi, M., Ghorbani, M. and Moghadam, A. S. (2023). Performance of special RC shear walls under lateral cyclic and axial loads. *Engineering Structures*, 295. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116813>
- Khademi, M., Tehranizadeh, M. and Shirkhani, A. (2023). Case studies on the seismic resilience of reinforced concrete shear wall buildings and steel dual concentrically braced buildings. *Structures*, 58, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105596>
- Albutainy, M. and Galal, K. (2024). Effect of boundary element detailing on the seismic performance of reinforced concrete masonry shear walls. *Engineering Structures*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.117164>
- El-Azizy, O.A., Ezzeldin, M. and El-Dakhkhni, W. (2023) Comparative analyses of reinforced masonry and reinforced concrete shear walls with different end configurations: Seismic performance and economic

- assessment. *Engineering Structures*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116852>
- Du, K., Luo, H. and Sun, J. (2020). Cyclic testing of moment-shear force interaction in reinforced concrete shear wall substructures. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 19, 465-481. <https://doi.org/10.1007/s11803-020-0574-x>
- Erdem, I., Akyuz, U., Ersoy, U and Ozcebe, G. (2006). An experimental study on two different strengthening techniques for RC frames. *Engineering Structures*, 28, 1843–1851. doi:10.1016/j.engstruct.2006.03.010
- Koutas, L., Pitytzogia, A., Triantafillou, T.C. and Bousias, S.N. (2014). Strengthening of infilled reinforced concrete frames with TRM: study on the development and testing of textile-based anchors. *Journal of Composites for Construction*, 18(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000390](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000390)
- Vetr, M. G., Yarmohamadi, A. and Mohammadikish, S. (2022). Experimental and numerical study on seismic response of RC frames strengthened by shotcrete sandwich panel infills and CFRP strips. *Structures*, 38, 1244–1256. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.11.052>
- Liang, L., Bai, G., Ma, J. and Jiang, Q. (2023). Seismic behavior of irregular shaped beam-column connections. *Engineering Structures*, 297. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116942>

ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİYLE TESPİT EDİLMİŞ FİZİKSEL İŞ YÜKÜ İLE ENERJİ TÜKETİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Emin KAHYA^{1*}, Ceyda ÖZGEN², Nasiba JORAYEVA³

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Meşelik Yerleşkesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-9763-2714>

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Meşelik Yerleşkesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No: <https://orcid.org/0009-0002-0240-3738>

³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Meşelik Yerleşkesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No: <https://orcid.org/0009-0007-0426-7254>

Anahtar Kelimeler	Öz
Çalışma duruşları Ergonomik risk değerlendirme yöntemleri Enerji tüketimi Akıllı saat	<i>İş yaşamında uygun olmayan çalışma duruşları, çalışanların sırt, kol, boyun, bilek gibi muhtelif vücut bölgelerinde kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olmaktadır. Böyle rahatsızlıkların ortaya çıkmasını engellemek amacıyla, ergonomik risk değerlendirmeleri ile risk düzeylerinin tespiti ve rahatsızlıkları azaltıcı iyileştirme önerilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, metal parçaların üretimini gerçekleştiren bir işletmenin üretim bölümündeki işlemlerin ergonomik risk değerlendirme yöntemleri kullanılarak elde edilen ergonomik risk skorları ile enerji tüketim miktarı arasındaki korelasyonların analizi amaçlanmıştır. İşletmede, bizzat işçilerin yapmış oldukları 20 işlem için REBA, QEC, OWAS ve MURI yöntemleri ile risk skorları tespit edilmiştir. İşlemleri yapan işçinin işlem boyunca harcadığı enerji miktarının tespiti için HUAWEI Watch Fit model akıllı saat çalışana takılarak, 120 dk boyunca harcadığı toplam enerji miktarı ile ortalama kalp atış frekansı değerleri kaydedilmiştir. Risk skorları; REBA için 4-8, QEC için %65-%77, OWAS için 1-2 ve MURI için 10-15 arasında tespit edilmiştir. Toplam enerji miktarları 292 - 532 Kcal ve kalp atış frekansı ortalaması ise 78 - 103 aralığındadır. Risk skorları ile harcanan enerji miktarı arasındaki korelasyonlar; REBA için 0,46, QEC için 0,2, OWAS için -0,07 ve MURI için -0,12 elde edilmiştir.</i>

EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION WITH PHYSICAL WORKLOAD DETECTED BY ERGONOMIC RISK ASSESSMENT METHODS

Keywords	Abstract
Working postures Ergonomic risk assessment methods Energy consumption Smart watch	<i>Inappropriate working postures in work life cause musculoskeletal disorders in various body parts of employees such as back, arm, neck and wrists. In order to prevent the occurrence of these discomforts, it is necessary to determine risk levels through ergonomic risk assessments and develop improvement suggestions. In this study, it was aimed to analyze the correlations between the ergonomic risk scores obtained using ergonomic risk assessment methods and the amount of energy consumption of the operations in the production department of an enterprise that produces metal parts. In the enterprise, risk scores were determined using REBA, QEC, OWAS and MURI methods for 20 operations by the workers themselves. In order to determine the amount of energy consumed by the worker during the operation, a HUAWEI Watch Fit model smart watch was attached to the worker, and the total amount of energy spent for 120 minutes, and average heart rate values were recorded. Risk scores were determined between 4-8 for REBA, %65-%77 for QEC, 1-2 for OWAS and 10-15 for MURI. Total energy amount is between 292-532 Kcal and the average heart rate is between 78-103. Correlations between risk scores and amount of energy spent were 0,46 for REBA, 0,20 for QEC, -0,07 for OWAS and -0,12 for MURI.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 31.01.2024

Kabul Tarihi : 10.06.2024

Research Article

Submission Date : 31.01.2024

Accepted Date : 10.06.2024

* Sorumlu yazar: ekahya@ogu.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1429508>



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

Teknolojik gelişmeler sayesinde iş yaşamında özellikle bedensel işler kolay hale getirilse de insan gücüne duyulan ihtiyaç hala pek çok sektörde devam etmektedir. İnsan gücünün yoğun olarak kullanıldığı sektörlerde uygun olmayan çalışma duruşları çalışanlarda kas iskelet sistemi rahatsızlıklarına (KİSR) neden olmaktadır.

KİSR, kaslarda, sinirlerde, tendonlarda, kıkırdakta, bağlarda, birleşme noktalarında ve disklerde (omurga) meydana gelen rahatsızlıklardır (Akay, Dağdeviren ve Kurt, 2003). Böyle rahatsızlıklar, çalışanların işleri yapım esnasında, yana veya öne eğilme, parça tutma, kavrama, bükme, uzanma gibi vücut hareketlerinden meydana gelmektedir. KİSR, sadece ülkemizde değil, dünyada da yaygın bir sağlık sorunu olup; sinirleri, tendonları, kasları ve vücudun diğer destekleyici yapılarını kapsamaktadır (Esen ve Fırlalı, 2013). Sık tekrarlı ve sürekli hareketler, ara vermeksizin uzun süreli ve sık çalışma, sabit duruşla, gereğinden fazla hızlı çalışma, uygun olmayan sıcaklık, titreşim gibi çalışma koşulları gibi etkenler KİSR'nin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle uygun olmayan çalışma duruşlarının en aza indirilmesini sağlayacak iyileştirilmelerin geliştirilmesi sadece zorlanan vücut bölgelerinde ağrıların azalmasını sağlamaz, aynı zamanda işgücü verimliliğinin de artmasını sağlar.

KİSR önlenmesi ve azaltılmasını sağlamanın en önemli yolu ergonomik açıdan tehlikelerin belirlenmesi için ergonomik risk değerlendirmesi yapılmasıdır (Coşkun, Sağiroğlu ve Erginel, 2015). Başka bir ifade ile, KİSR rahatsızlıklarını azaltabilmek için, ergonomik risk değerlendirme yöntemleri ile riskli ve zorlanan vücut bölgelerinin tespiti, sonrasında ise bu riski azaltacak iyileştirme geliştirmelerinin yapılmasıdır. Risk azaltıldığında KİSR da azalabilmektedir.

Literatürde ergonomik riskleri değerlendirmek amacıyla birbirinden farklı özellikler sahip pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler, çalışırken çalışanın duruşunu değerlendirmek ya da yaptığı işin unsurlarını ele almak üzere tasarlanmışlardır (Karabacak, 2016; Kılıç Delice, Ayık, Abidinoğlu, Çiftçi ve Sezer, 2018).

Basit gözleme dayalı ergonomik risk değerlendirme yöntemleri, iş dünyasında yaygın kullanılan yöntemlerdir. Yöntemlerin en önemli üstünlükleri; lisans anlaşması gerektirmemesi, uygulama maliyetinin düşüklüğü, öğrenmesi ve uygulanmasının kolay olmasıdır. Literatürde en yaygın kullanılanları; REBA, OWAS, QEC, OCRA, RULA sayılabilir. Gelişmiş gözleme dayalı yöntemler; Ergo-Man, 3DSSPP, Jack, RAMSIS Model, AnyBody Modelleme Sistemi olup bu yöntemler için lisans bedeli ödenmesi, analiz yapılacak işlem için yazılım ile uzun süreli modellenmeye ihtiyaç duyulması

en önemli sakıncalarıdır. Elektromiyografi (sEMG), LMM, CUELA gibi direkt ölçüm yöntemleri ise insan hareketlerinin ve duruşların analizi için cihaz kullanımını gerektirir. Bu cihazların satın alma fiyatları çok yüksek olduğu gibi, işlemlerin analizi için hazırlıkların da uzun sürmesi nedeniyle işletmelerde kullanımı pratik değildir. Bu yöntemler, esas itibarıyla, yoğun çalışan kaslardaki yorgunluğu ölçmektedir. Kuşkusuz kaslardaki yorulma arttıkça harcanan enerji miktarı da artmaktadır. Bu çalışmadaki esas düşünce bu özellik üzerine odaklanarak akıllı saat kullanılarak harcanan enerji miktarını belirleyip sonuçların ergonomik risk yöntemleri ile elde edilen risk düzeylerinin karşılaştırılmasıdır.

Ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden literatürde yaygın kullanılan REBA, OWAS, QEC ve MURİ yöntemleri ile bir metal sanayi işletmesinde 20 işlem için risk skorları belirlenmiştir. İşlemleri yapan işçinin işlem boyunca harcadığı enerji miktarının tespiti için, HUAWEI Watch Fit model akıllı saat çalışana takılarak, sabah ve öğleden sonra ayrı ayrı olmak üzere 120 dk boyunca harcadığı toplam enerji miktarı ile ortalama kalp atış frekansı değerleri kaydedilmiştir. Risk skorları ile harcanan enerji miktarı arasındaki korelasyonlar analiz edilmiştir.

Bu çalışma, bilindiği kadarıyla, ergonomik risk değerlendirme yöntemleri belirlenmiş risk skorları ile işlemleri yapan işçilerin işlem boyunca harcadığı enerji arasındaki korelasyonları analiz eden, ilk pilot çalışmadır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Bu çalışmada,

- Basit gözleme dayalı ergonomik risk değerlendirme yöntemleri
- Üretim sektörlerinde enerji tüketimi

alanlarında son yıllarda yapılmış önemli çalışmalar tanıtılacaktır.

2.1. Basit Gözleme Dayalı Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri

Bilimsel yazında, ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden biri veya birkaçı kullanılarak; metal (Arslan ve Ünver, 2023; Demirtaş ve diğ., 2023; Kahya ve Söylemez, 2019; Kansu, Parlak, ve Güneri, 2021; Özcan ve Yeğin, 2020; Sever ve Deste, 2021), otomotiv (Atıcı, Gönen ve Oral, 2015; Mert, İde ve Gündüz, 2022; Nelfiyanti, Mohamed ve Rashid, 2022; Yazdanirad ve diğ., 2018), tekstil (Çelebi ve Aras, 2023; Demirkol Akyol, 2022), mobilya (Çiçek, Kazanç ve Kahya, 2018; Hawari, Sulaiman, Kamarudin ve Me, 2022; Polat ve diğ., 2017), gıda (Aydın, 2021; Baş ve Yapıcı, 2020), tarım (Akalp, Saklangıç ve Çırakoğlu, 2021; Choi ve diğ., 2020; Sauk, Beyhan ve Kalın Uğurlutepe, 2023), inşaat

(Gajbhiye, Banerjee ve Nandi, 2020; Zengin ve Asal, 2020; Zorlutuna ve Kılıç, 2022) gibi sektörlerde bedensel işlerde çalışanların yaptıkları işlerde risk skorunu tespit etmek amacıyla yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Çalışmaların büyük bölümünde yüksek risk skoru tespit edilmiş işlemler için iyileştirme önerilerinin geliştirilmesi ele alınmıştır.

Direkt ölçüm yöntemleri kullanılarak muhtelif sektörlerde yapılmış nadir çalışmalar da bulunmaktadır. Son yıllarda, Freitag ve diğ. (2014) CUELA; Weiner, Kalichman, Ribak ve Alperovitch-Najenson (2017), Lee, Heo ve Lee (2021) ve Allread ve Vossenas (2022) LMM ve Mudiyanseleage, Nguyen, Rajabi ve Akhavian (2021) sEMG cihazlarını kullanarak çalışanların ağrı düzeylerini tespit etmişlerdir.

2.2. Üretim Sektörlerinde Enerji Tüketimi

Üretim sektörlerinde çalışanların harcadıkları enerji tüketimi üzerine son yıllarda yapılmış bazı önemli çalışmalar aşağıda açıklanmıştır.

Garg, Chaffin ve Herrin (1978), elle taşıma işleri için metabolik enerji harcama miktarını tahmini amaçlayan bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmada, 48 farklı iş için formüller elde etmişlerdir.

Eminoğlu ve Öztürk (2013), çapa makinası ile çalışanların; günde 6 saat çalışma ve toplam 2 saat dinlenmeli 4 farklı çalışma programı ile enerji tüketim ve kalp atış frekanslarını ölçmüşlerdir. Enerji tüketimi ölçümleri için Polar marka RS800 cihaz ve göğüs bantı kullanılmıştır. Kara, Atasagun, Gökçen, Hezer ve Demirel (2014), 30 görev ve 7 istasyonlu montaj hattı dengeleme probleminde, çalışanın harcadığı kalori miktarını kısıt olarak modele eklemişler ve çalışanların enerji harcamasının limitler içinde kalmasını sağlamışlardır. Battini, Delorme ve Dolgui (2016), montaj hatlarında, istasyonlara malzeme tedariki ve ergonomik risk kısıtlarını dikkate alan bir model önermişlerdir. Sauk ve Beyhan (2016), pnömatik fındık toplama makinası ile fındığın toplanması sırasında çalışanın kalp atış frekansını, enerji tüketim miktarını ve dinlenme sürelerini tespit etmiştir.

Aydın, Özalp ve Gündüz (2022), işletmelerde ergonomik risk değerlendirme yöntemlerini daha kolay uygulayabilmek ve analiz sonuçlarını karşılaştırabilmek amacı ile metabolik hız hesabını da içeren bir yazılım tasarlamışlardır. Yıldız, Akın, Aydın, Gündüz ve Özalp (2022), kauçuk hortum üretimi yapan bir işletmenin lojistik bölümünde metabolik hız ve enerji yükü değerlendirilmesini, manuel malzeme taşıma işleri için Garg ve diğ. (1978) tarafından geliştirilen metabolik enerji tüketim formüllerini kullanılarak gerçekleştirmişlerdir.

Akıllı saat kullanılarak yapılan çalışmaların büyük bölümü spor amaçlı olarak muhtelif faaliyetler için enerji tüketim miktarının ölçümüne odaklanmıştır.

Bilindiği kadarıyla, üretim sistemlerinde çalışanların harcadıkları enerjinin akıllı saat kullanılarak tespitini ve bunun risk skoru ile ilişkisini araştıran bir çalışma ile karşılaşılmamıştır.

3. Yöntem

Bu çalışma, Organize Sanayi Bölgesinde, metal ve plastik parçalar üreten bir işletmede gerçekleştirilmiştir. İşletmede, yaklaşık olarak 250 mavi yakalı personel görev yapmaktadır. Uygulamanın yapıldığı metal üretim bölümünde ise 3 farklı atölyede yaklaşık 60 işçi çalışmaktadır.

Metal üretim bölümünde, saç plakadan kesilen saç parçalar, preslerde şekillendirme, puntolama, delik delme, diş çekme gibi işlemlerden geçtikten sonra gruplama atölyesinde montajları yapılmaktadır.

Bu çalışmada, metal üretim bölümündeki 20 işlem araştırma kapsamına alınmıştır. Çalışma öncesinde işletme yöneticisi ile temas kurularak çalışmanın amacı, yürütüm şekli hakkında detaylı bilgi verilmiş, araştırma ve makale için 7 Ağustos 2023 tarihli izin alınmıştır. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri İnsan Araştırmaları Etik Kurulu Başkanlığı'nın 21 Eylül 2023 tarih ve 2023-18.01 nolu kararı ile araştırmanın etik ve bilimsel açıdan uygunluğu onaylanmıştır.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Bu çalışmada, 4 ergonomik risk değerlendirme yöntemi ile akıllı saat kullanılmıştır.

3.1. Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri

Çalışanların, ergonomik açıdan karşılaştıkları fiziksel iş yüklerini tespit etmek amacıyla kullanılan gözleme dayalı ergonomik risk değerlendirme yöntemleri içinde literatürde en yaygın kullanılanlar; REBA, OWAS ve QEC yöntemleridir. Bu çalışmada, ayrıca, işletmedeki işlemler için uygun olabileceği değerlendirilen MURI yönteminin de kullanılması tercih edilmiştir.

İşletmede mevcut olan yaklaşık 60 tezgahdaki işlemler incelenmiş, bizzat işçilerin yaptığı 20 işlem için ergonomik risk değerlendirme çalışması yapılabileceği tespit edilmiştir.

Bir araştırmacı, analiz yapacağı işlemi belirledikten sonra işçiden gözlem için onay almış ve kabul etmesi halinde gönüllü katılım formunu imzalatmıştır. Araştırmacı işlemin nasıl yapıldığını, işçinin işlemi yapış esnasında vücut bölgelerini ne düzeyde zorlandığını tespit etmiştir. Önce, REBA yöntemi için, formda belirtilen vücut bölgeleri için işçinin zorlanma düzeyi belirlenip forma işaretlemiştir. İşaretlenen düzeylere göre formdaki puanlar toplanarak REBA risk skoru hesaplanmıştır. Aynı süreç diğer yöntemler için de uygulanmış ve her işlem için 4 farklı yöntemle göre risk skorları elde edilmiştir.

3.2. Akıllı Saat

Akıllı saat, geleneksel saatler gibi kola takılan ve dijital ekrana sahip olan giyilebilir teknoloji ürünüdür. Bu saatin diğerlerinden farkı ise içerisinde bir bilgisayar bulunması ve elektronik mobil cihaz özelliği taşımasıdır.

Akıllı saat teknolojisi, son yıllarda dikkat çeken ve piyasadaki çeşitliliği artış gösteren bir giyilebilir teknoloji ürünüdür. Gelişen teknolojiyle birlikte, taşınabilir teknolojik ürünler ve nesnelerin internetinin de gelişmesiyle, akıllı saatler günlük hayatta yer edinmeye başlamıştır. Akıllı saatler hem akıllı telefonlar ile uyumlu hem de sağlıkla ilgili birçok özelliği bir arada bulundurmaktadır. Akıllı saatler, bileğe takılmak üzere tasarlanmış, akıllı telefon özelliklerini içeren taşınabilir cihazlardır. Aktivite takibi, kalp atış hızı ve diğer yaşamsal fonksiyonları da kayıt altında tutmaktadır (Turgut, Danışan ve Tamer, 2020).

Gözlemlenen işçinin işlem boyunca harcadığı enerji miktarının tespiti için piyasada mevcut olan akıllı

saatlerden biri kullanılabilir. Bu çalışmada, HUAWEI Watch Fit model akıllı saatin kullanımı tercih edilmiştir.

Akıllı saat çalışana takıldıktan sonra parametreler sıfırlanmış, işçinin kalp atış frekansının düzenli hale gelmesi için 5-10 dk beklendikten sonra ölçüm alınmaya başlanmıştır. 60 dk ölçüm sonunda harcanan enerji miktarı (Kcal) ve kalp atış frekansı (KAF) (ortalama) değerleri kaydedilmiştir. Her işlemi yapan işçi için sabah ve öğleden sonra olmak üzere toplam 120 dk ölçüm alınmıştır.

4. Bulgular

4.1. İşlemlerin Risk Skorlarının Belirlenmesi

20 işlem için REBA, QEC, OWAS ve MURİ yöntemleri için risk değerlendirmeleri yapılmış ve skorlar Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere, işlemlerin risk skorları; REBA 4-8, QEC %65,438 – 77,16, OWAS 1-2 ve MURİ 10-15 arasında değişmektedir.

Tablo 1. İşlemlerin Risk Skorları

Atölye	İşlem Adı	REBA	QEC	OWAS	MURİ
Saç Kesim	Saç kesim	6	69,14	2	15
Manuel Preshane	Manuel Şekillendirme (H2501)	5	70,37	2	14
	Manuel Şekillendirme (631)	4	73,46	2	11
	Manuel Şekillendirme (632)	4	70,37	2	11
	Manuel Şekillendirme (1005)	5	66,67	2	10
	Manuel Şekillendirme (1007)	5	73,46	2	12
Otomatik Preshane	Otomatik Şekillendirme (4002)	7	72,22	2	14
Gruplama	Çapak alma	7	71,60	2	12
	Argon Kaynak	8	77,16	2	11
	Punto Kaynak	5	70,99	1	10
	Diş Çekme A	4	65,43	2	10
	Diş Çekme B	5	74,07	1	12
	Çoklu Diş Çekme	6	74,69	2	12
	Perçinleme	4	75,93	1	11
	Montaj A	6	70,37	1	11
	Montaj B	6	76,54	2	13
	Montaj C	6	76,54	2	13
	Tox Baskı	5	72,84	2	14
	Vida Sıkma	5	70,99	2	11
	Yapıştırma	6	70,37	2	12

Her yöntemde farklı vücut bölgelerinin risklerinin değerlendirilmesi ile ağırlık kaldırma gibi ek faktörler yer almaktadır. Başka bir ifade ile tüm vücut boyutları ve faktörleri kapsayan mükemmel bir yöntem yoktur. Dolayısıyla en yüksek skorlu işlemler yöntemden yöntemine değişebilmektedir. En yüksek skorlu işlemler;

- REBA yöntemine göre Argon kaynak (skor = 8)
- QEC yöntemine göre Argon kaynak (skor = %77,16)

- OWAS yönteminde 16 işlem (skor = 2)
- MURİ yöntemine göre Saç kesim (skor = 15)

elde edilmiştir.

Her yöntemde, risk skorunun maksimum değeri farklı olduğu gibi birimleri de birbirinden farklı özelliktedir. Örneğin, REBA yönteminde maksimum risk skoru 15 puan olmasına rağmen QEC yönteminde risk değeri % cinsindedir.

Bir işlemin 4 yöntem için risk skorlarını içeren bütünlük risk skoru, bunların ortalaması ile hesaplanamaz. Dolayısıyla, yöntemlerin risk skorlarının aynı birime dönüştürülmesi yani normalizasyon işlemi yapılması gerekir. Normalizasyon işlemi, 1 risk skoru başına % belirlenmesi ile mümkündür. Örneğin, REBA skoru için, maksimum risk skoru 15 olduğundan 1 risk skoru başına %6,67 olur (Tablo 2).

Tablo 2. Karşılaştırma Ölçeği

Yöntem	Maksimum Risk Skoru	Skor Başına %
REBA	15	%6,67
QEC	%100	%1
OWAS	4	%25
MURI	27	%3,7

Tablo 3. Bütünlük Risk Skorları (%)

İşlem Adı	REBA	QEC	OWAS	MURİ	Bütünlük
Saç kesim	40,00	69,14	50,00	55,56	53,67
Manuel Şekillendirme (H2501)	33,33	70,37	50,00	51,85	51,39
Manuel Şekillendirme (631)	26,67	73,46	50,00	40,74	47,72
Manuel Şekillendirme (632)	26,67	70,37	50,00	40,74	46,94
Manuel Şekillendirme (1005)	33,33	66,67	50,00	37,04	46,76
Manuel Şekillendirme (1007)	33,33	73,46	50,00	44,44	50,31
Otomatik Şekillendirme (4002)	46,67	72,22	50,00	51,85	55,19
Çapak alma	46,67	71,60	50,00	44,44	53,18
Argon Kaynak	53,33	77,16	50,00	40,74	55,31
Punta Kaynak	33,33	70,99	25,00	37,04	41,59
Diş Çekme A	26,67	65,43	50,00	37,04	44,78
Diş Çekme B	33,33	74,07	25,00	44,44	44,21
Çoklu Diş Çekme	40,00	74,69	50,00	44,44	52,28
Perçinleme	26,67	75,93	25,00	40,74	42,08
Montaj A	40,00	70,37	25,00	40,74	44,03
Montaj B	40,00	76,54	50,00	48,15	53,67
Montaj C	40,00	76,54	50,00	48,15	53,67
Tox Baskı	33,33	72,84	50,00	51,85	52,01
Vida Sıkma	33,33	70,99	50,00	40,74	48,77
Yapıştırma	40,00	70,37	50,00	44,44	51,20

En yüksek bütünlük risk skoruna sahip işlemler,

- 1) Argon Kaynak (%55,31)
- 2) Otomatik Şekillendirme (4002) (%55,19)
- 3) Saç kesim (%53,67)
- 4) Montaj B (%53,67)
- 5) Montaj C (%53,67)

elde edilmiştir.

Tablodaki hesaplama yöntemi kullanılarak, Argon kaynak işlemi için risk skorları (%);

- REBA : %53,33
- QEC : %77,16
- OWAS : %50
- MURI : %40,74

elde edilir. Her bir ergonomik risk değerlendirme yöntemin bütünlük risk skorundaki payı eşit kabul edilerek bütünlük risk skorları hesaplanabilir.

Gözlem yapılan her işlem için, 4 yöntemin % risk skorlarından bütünlük risk skorları tespit edilmiş ve Tablo 3'te verilmiştir.

4.2. Enerji Tüketim Miktarlarının Tespiti

Her işlemi yapan işçi için sabah ve öğleden sonra olmak üzere toplam 120 dk ölçüm alınmış ve harcanan enerji (Kcal) ile ortalama kalp atış frekansı (KAF) (atış/dk) sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Akıllı Saat Ölçüm Sonuçları

İşlem Adı	Sabah Ölçümü		Öğleden Sonra Ölçümü		Toplam Enerji Miktarı (120 dk)
	Harcanan Enerji (60 dk)	KAF	Harcanan Enerji (60 dk)	KAF	
Saç kesim	171	88	133	78	304
Manuel Şekillendirme (H2501)	201	90	125	88	326
Manuel Şekillendirme (631)	160	89	169	88	329
Manuel Şekillendirme (632)	194	93	158	90	352
Manuel Şekillendirme (1005)	276	93	187	97	463
Manuel Şekillendirme (1007)	217	82	179	92	396
Otomatik Şekillendirme (4002)	276	97	256	97	532
Çapak alma	239	91	219	95	458
Argon Kaynak	222	91	170	89	392
Punta Kaynak	275	103	263	99	538
Diş Çekme A	150	89	142	82	292
Diş Çekme B	160	83	173	89	333
Çoklu Diş Çekme	196	86	209	100	405
Perçinleme	211	98	150	91	361
Montaj A*					
Montaj B	239	98	223	99	462
Montaj C	203	92	267	90	470
Tox Baskı	196	88	115	92	311
Vida Sıkma*					
Yapıştırma	207	100	167	93	374

* Enerji ölçümü için izin alınamamıştır

Toplam enerji miktarları 292 - 532 Kcal ve kalp atış frekansı ortalaması ise 78 - 103 aralığında değişmektedir.

İşlemlerin REBA skorlarına bağlı olarak işlemi yapan işçinin harcadığı hem sabah (mavi), hem öğleden sonra (kırmızı) hem de toplam enerji miktarlarının değişimi Şekil-1 de verilmiştir. Açıkça görülmektedir ki REBA risk skoru arttıkça, genel olarak, harcanan toplama enerji miktarı artmaktadır.

REBA risk skorlarına bağlı olarak harcanan toplam enerji miktarı arasındaki doğrusal regresyon analizinde,

$$\text{Enerji Miktarı} = 303,76 + 9,5335 (\text{REBA Skoru}) \quad (1)$$

elde edilmiştir.

$$\text{Enerji Miktarı} = 310,82 + 8,7905 (\text{OWAS Skoru}), R^2 = 0,3730 \quad (2)$$

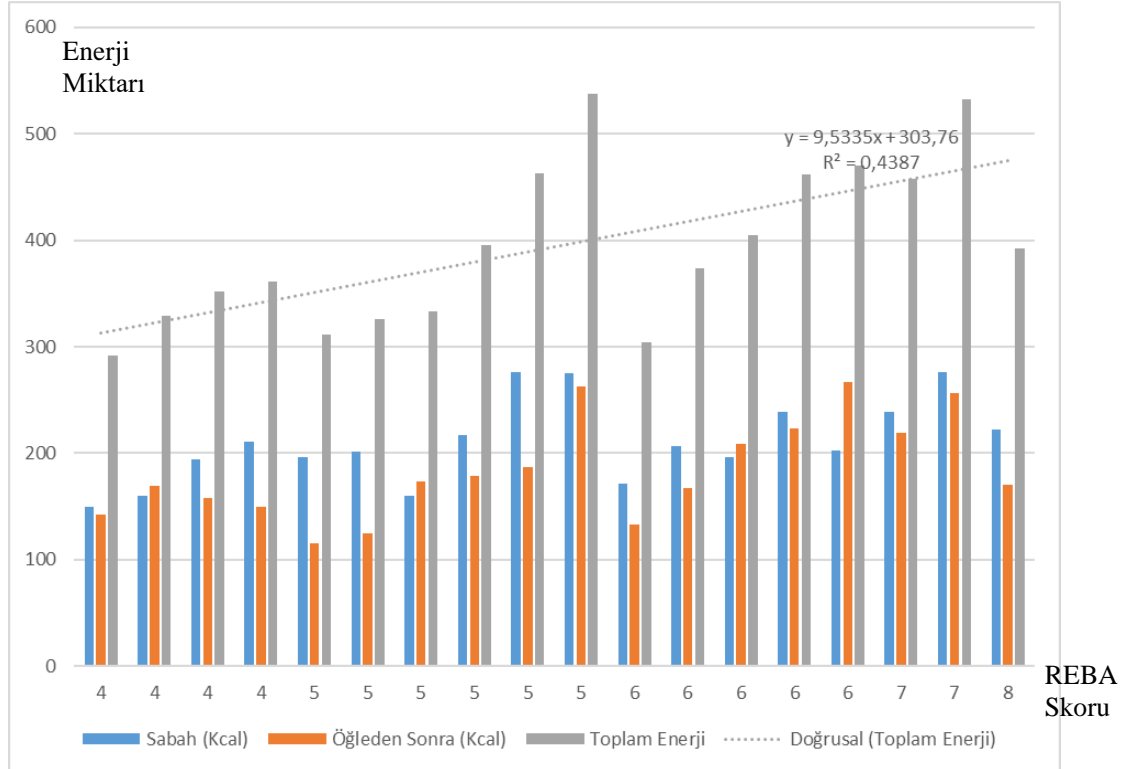
$$\text{Enerji Miktarı} = 363,78 + 3,2157 (\text{QEC Skoru}), R^2 = 0,0499 \quad (3)$$

$$\text{Enerji Miktarı} = 388,24 + 0,64197 (\text{MURI Skoru}), R^2 = 0,0002 \quad (4)$$

R^2 , bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkendeki değişimin yüzde kaçını açıkladığını belirtir. $R^2 = 0,4387$ belirlenmiş olup, REBA risk skorunun, harcanan enerji miktarının %43,87'sini açıkladığını ifade etmektedir (Şekil 1).

OWAS, QEC ve MURI risk skorlarına bağlı olarak enerji miktarı arasındaki doğrusal regresyon analizinde Denklem (2)-(4) ile elde edilmiştir.

Dört ergonomik risk değerlendirme yöntemleri için işlemlerin risk skorları ile harcanan toplam enerji miktarı arasındaki korelasyon SPSS 24 paket programı kullanılarak araştırılmış ve korelasyon katsayıları Tablo 5'te verilmiştir.



Tablo 5. Ergonomik Risk Değerleme Risk Skorları ile Harcanan Enerji Arasındaki Korelasyonlar (n=18)

	REBA	QEC	OWAS	MURI	ENERJİ
REBA	1				
QEC	0,349	1			
OWAS	0,311	-0,186	1		
MURI	0,357	0,187	0,321	1	
ENERJİ	0,458	0,204	-0,071	-0,116	1

Sonuçlar göstermektedir ki harcanan enerji miktarı ile OWAS ve MURI arasında çok zayıf, QEC arasında zayıf ve REBA arasında ise orta düzeyde korelasyon tespit edilmiştir.

5. Tartışma

Bu çalışma, literatürde en yaygın kullanılan 4 ergonomik risk değerlendirme yöntemleriyle belirlenmiş skorlar ile, işlemleri yapan işçilerin işlem boyunca harcadığı enerji miktarı arasındaki korelasyonları analiz eden, bilindiği kadarıyla, ilk pilot çalışmadır.

Tablo 6'da her bir yöntem için risk düzeylerindeki işlem sayıları verilmiştir. En yüksek riskli işlemler; REBA ve QEC yöntemlerine göre argon kaynak, MURI yöntemine göre ise saç kesim işlemleridir. Risk skoruna bağlı olarak, orta düzey riskler için iyileştirme yapılması gerekli, yüksek riskler için ise kısa zamanda iyileştirme yapılması önerilmektedir.

Tablodan açıkça görülmektedir ki, REBA yöntemine göre, işlemlerin büyük bölümü orta risk düzeyindedir. Başka bir deyişle sadece 1 işlem yüksek risklidir.

Tablo 6. Yöntemler Göre Risk Düzeylerindeki İşlem Sayıları

Risk Düzeyi	REBA	QEC	OWAS	MURI
Düşük	0	0	4	3
Orta	19	0	16	17
Yüksek	1	3	0	0
Çok Yüksek	0	17	0	0

En yüksek riskli 3 işlem;

- 1) Argon Kaynak (Skor =8)
- 2) Otomatik şekillendirme (Skor = 7)
- 3) Çapak alma (Skor =7)

işlemleridir. Bu işlemlerden ikisi, bütünleşik risk skoru açısından, en yüksek risk skorlu ilk 5 işlem arasında yer almaktadır.

Her bir ergonomik risk değerlendirme yönteminin kapsadığı vücut bölgeleri ile risk skoru tespit etme sürecine bazı farklılıklar olduğundan, tespit edilmiş yüksek riskli işlemler birbirinden farklı olabilmektedir.

REBA, OWAS ve MURI yöntemlerinde orta riskli işlem sayıları 16 - 19 arasında olmasına rağmen, QEC yönteminde tüm işlemler yüksek ve çok yüksek risk düzeyindedirler. Başka bir deyişle, QEC için başlangıç skorunun daha düşük skorla belirlendiği ifade edilebilir. QEC yönteminde risk düzeyleri, öncekine göre %10 sabit artışlarla belirlenmiştir. Bu artış, ilk bakışta makul görülmekle birlikte, hafif metal sanayi işlemleri için uygun olmadığı anlaşılmaktadır.

Dört yönetime göre, en yüksek risk skoruna sahip işlemler incelendiğinde, en yüksek risk skorlarının **sırt** bölgesinde, daha az sayıda ve şiddette olmak üzere **kol** (üst) ve **boyun** vücut bölgelerinde riskler bulunduğu tespit edilmiştir.

REBA skorları esas alındığında, çalışanların; 5 işlemde ~60° **öne eğildikleri** tespit edilmiştir.

Sırt eğilmelerinin 2 ana nedenden kaynaklandığı düşünülmektedir.

- a) Kasadan parça alma / bırakma ile tezgaha (kalıba) parça yerleştirmesi
- b) Çalışma yeri (veya tezgah) yüksekliğinin düşük olması
- a) Kasadan parça alma vb. nedenle sırt eğilmesi dolayısıyla sırt ağrılarını azaltmak için;
 - i) Taşıma pratikliği nedeniyle çoğu işletme işlenecek parçaları 80*150*80 cm ebadında büyük kasalarda tutmaktadırlar. Parçaların bu kasaya yerleştirilmesi veya kasadan parçanın alınması esnasında işçiler 60°'ye kadar sırtını eğmektedirler. Yük kaldırma prensiplerinde, kasaların zeminden en az 40 cm yükseğe yerleştirilmesi önerilmektedir. Büyük kasaların altına 40 cm yüksekliğinde bir platform konulması halinde işçilerin eğilmeleri büyük ölçüde önlenir.
 - ii) Küçük kasalardan (40*60*15 cm ebatlı gibi) malzemeleri alma yüksekliği yaklaşık olarak dirsek yüksekliğinde olmalıdır. Kutu yüksekliğinin yaklaşık 15 - 20 cm olabileceği dikkate alındığında, kasa altı yüksekliğinin çalışanın bel yüksekliğinde olması önerilebilir. Çalışanların boy yüksekliğinde farklılık olabileceği dikkate alınarak, standart (normal) ~110 cm ve ayarlama mesafesi ~25 cm olan ayarlanabilir kaldırma tablası kullanılmalıdır.

b) Farklı boylarda kadın ve erkeklerin birlikte çalıştığı tezgahlarda aynı tezgah yüksekliği önerilmemektedir. Uzun boylu erkekler için ayarlanmış bir tezgahta kısa boylu çalışanlar **kollarını kaldırarak** çalışacaklarından, **kol ağrıları** oluşmaktadır. Kısa boylu çalışanlara göre ayarlanmış bir tezgahta ise uzun boylu çalışanlar eğilmek zorunda kalmaktadırlar.

Türkiye'de son yıllarda kapsamlı (4205 denek) antropometrik ölçülerin alındığı bir çalışma olan İşeri ve Arslan (2009)'da verilmiş ölçüler dikkate alınarak;

- i) Yüksekliği 96,3 - 122,5 cm olan, ayarlanabilir çalışma yeri (montaj masası vb.) kullanılmalıdır.
- ii) Makas, Pres gibi tezgahların yüksekliğinin ayarlanabilmesi mümkün değildir. Sabit yükseklikli çalışma yerleri için, boy yüksekliği yakın işçiler çalıştırılmalıdır. Örneğin tezgahın çalışma yeri yüksekliği 115 cm ise ayakta çalışacak işçilerin boyu ~175 cm olan işçiler görevlendirilmelidir.

Kol kaldırma, pres, kaynak gibi işlemlerde sıklıkla karşılaşılmaktadır. İlke olarak kolun en fazla omuz hizasına kadar kaldırılması önerilmektedir. Daha fazla kol kaldırmaları üst kol ve omuz ağrılarını neden olmaktadır.

Boyun eğmesi, çalışanın işin gerektirdiği yükseklikten daha uzun ve parçanın görsel detay gerektirmesi halinde gerçekleşir. Özellikle çapak alma gibi işlemlerde görsellik daha fazla gerektiğinden, çalışanlar boyun eğmesi yapabilmektedir. Nitekim, öne ve yana boyun eğmesi çapak alma, argon ve punto kaynak, montaj A, B ve C işlemlerinde daha yüksektir (skor = 3). Montaj vb. işlemlerde oturarak çalışmak daha uygundur. Çalışma masası sabit olduğunda, 160 - 180 cm boylardaki işçilerin çalışabilmeleri için yüksekliği 30 cm'e kadar ayarlanabilir, tercihen tekerlekli ve bar tipi sandalye önerilmektedir.

Önerilen iyileştirmelerin uygulanması halinde; REBA yöntemine göre, 3 **vücut bölgesi** için risk skorlarının;

- Gövde skorunun 3'ten veya 4'ten 2'ye
- Boyun skorunun 3'ten 2'ye
- Üst kol skorunun 3'ten veya 4'ten 2'ye

düşmesi mümkün görünmektedir. REBA skorları, ortalama olarak 3 skor azalması halinde; çalışanların günlük enerji tüketiminin, Denklem (1) kullanılarak, 115 KCal azalacağı beklenmektedir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, 4 ergonomik risk değerlendirme yöntemi ile belirlenmiş risk skorları ile işlemleri yapan işçilerin işlem boyunca harcadığı enerji miktarı arasındaki korelasyonlar analiz edilmiştir.

Zorlanma düzeyi ve süresi arttıkça enerji harcama miktarının da artması beklenmektedir. Korelasyon katsayıları dikkate alındığında, genel olarak zorlanma düzeyi arttıkça çalışanın enerji harcama miktarının da arttığı görülmektedir. Bu ilişki REBA yönteminde daha yüksek (0,46) tespit edilmiştir. Diğer yöntemler için ilişki zayıftır, dolayısıyla bu yöntemler için verilen denklemlerin kullanılması önerilmemektedir.

Bazı önemli öneriler;

1. REBA yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde, enerji tüketim miktarı ölçülerek de analizler yapılabilir. Başka bir deyişle, en yüksek enerji tüketimi belirlenmiş işlemler için iyileştirme önerileri geliştirilmelidir.
2. Enerji miktarının ölçümü için HUAWEI Watch Fit model akıllı saat kullanılmıştır. Daha hassas sensörlü cihazlar ve 2 saat yerine 8 saat boyunca gözlemler yapılması halinde daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi beklenmektedir.
3. Bu çalışma, hafif metal parçaların üretildiği bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Daha ağır parçaların işlemlerinde enerji tüketim miktarları artacağından risk skoru - enerji arasındaki korelasyonlar değişebilir.
4. Gelecekte yapılabilir en önemli çalışma olarak, ergonomik montaj hattı dengeleme problemlerinde, zorlanma ölçüsü olarak; bir ergonomik risk değerlendirme yöntemi ile edilmiş risk skoru yerine enerji tüketim miktarı kullanılarak modelleme yapılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Emin KAHYA, çalışmanın tasarımı, bilimsel yayın taraması, formların tasarımı, istatistiki analizi, iyileştirme önerileri, makalenin hazırlanması, iyileştirme önerilerinin geliştirilmesi; Ceyda ÖZGEN ve Nasiba JORAYEVA ergonomik risk değerlendirmelerin yapılması, akıllı saat kullanılarak enerji ve kalp atış frekansı değerlerinin ölçülmesi konularında katkılarda bulunmuşlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Akalp, H. G., Saklangıç, U. ve Çırakoğlu, S. (2021). Zeytin tarımında çalışan işçilerin çalışma duruşlarının REBA yöntemi ile analizi. *Ergonomi*, 4(2), 88-96. doi: <https://doi.org/10.33439/ergonomi.961369>
- Akay, D., Dağdeviren, M. ve Kurt, M. (2003). Çalışma duruşlarının ergonomik analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(3), 73-84. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/76208>
- Allread, W. G., & Vossen, P. (2022). Comparisons of trunk motions and low back injury risk between alternative hotel room cleaning methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 14907. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph192214907>
- Arslan, A. ve Ünver, M. (2023). Bir demir-çelik işletmesinde sıcak haddeleme sürecindeki işlemlerin REBA yöntemi ile analizi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 13(1), 01-20. doi: <https://doi.org/10.55024/buyasambid.1255338>
- Atıcı, H., Gönen, D. ve Oral, A. (2015). Çalışanlarda zorlanmaya neden olan duruşların REBA yöntemi ile ergonomik analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 239-244. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jesd/issue/20874/224031>
- Aydın, S. (2021). NIOSH ve REBA yöntemleri kullanılarak ergonomik risk analizi vaka çalışması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(2), 414-433. doi: <https://doi.org/10.25092/baunfbed.887802>
- Aydın, F., Özalp, B. T. ve Gündüz, T. (2022). Ergonomik risk analizi yöntemleri ve metabolik hız hesabı yazılım uygulaması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(1), 341-360. doi: <https://doi.org/10.17482/uumfd.973215>
- Baş, H. ve Yapıcı, F. (2020). İş istasyonlarında çalışanlarda zorlanmaya neden olan duruşların ergonomik açıdan irdelenmesi: Örnek uygulama. *Ergonomi*, 3(3), 128-137. doi: <https://doi.org/10.33439/ergonomi.789307>
- Battini, D., Delorme, X., & Dolgui, A. (2016). Ergonomics in assembly line balancing based on energy expenditure: A multi-objective model. *International Journal of Production Research*, 54(3), 824-45. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1074299>

- Choi, K. H., Kim, D. M., Cho, M. U., Park, C. W., Kim, S. Y., Kim, M. J., & Kong, Y. K. (2020). Application of AULA risk assessment tool by comparison with other ergonomic risk assessment tools. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 6479. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17186479>
- Coşkun, M. B., Sağıroğlu, H. ve Erginel, N. (2015). İş istasyonlarının ergonomik riskinin NIOSH yöntemi ile belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 365-370. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jesd/issue/20874/224048>
- Çelebi, S. E. ve Aras, Ö. (2023). Tekstil sektöründe çalışan işçilerin ergonomik riskleri ile kas iskelet sistemi rahatsızlıkları arasındaki ilişkinin belirlenmesi. *Journal of Exercise Therapy and Rehabilitation*, 10(2), 138-146. doi: <https://doi.org/10.15437/jetr.1209187>
- Çiçek, E., Kazanç, N. ve Kahya, E. (2018) Bir mobilya işletmesinin montaj hattında ergonomik risk analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Special Issue: ERGONOMICS 2017, 67-82. doi: <https://doi.org/10.21923/jesd.359455>
- Demirkol Akyol, Ş. (2022). Bir tekstil işletmesinde ergonomik risk değerlendirme uygulaması. *Ergonomi*, 5(2), 72-83. doi: <https://doi.org/10.33439/ergonomi.1086636>
- Demirtaş, D. N., Yazıcı, E., Olcar, H., Kuşçu, F. N., Başer, C. ve Alakaş, H. M. (2023). Isı rezistans fabrikasında ergonomik risk değerlendirme ve hedef programlama ile personel planlama. *Verimlilik Dergisi*, 57(1), 159-180. doi: <https://doi.org/10.51551/verimlilik.1050109>
- Eminoğlu, M. B. ve Öztürk, R. (2013). Farklı çalışma programlarının çapa makinası operatörlerinin fiziksel zorlanmasına etkisinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 9(1), 1-8. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/118794>
- Esen, H. ve Fırlı, N. (2013). Çalışma duruşu analiz yöntemleri ve çalışma duruşunun kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına etkileri. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(1), 41-51. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/192676>
- Freitag, S., Seddouki, R., Dulon, M., Kersten, J., Larsson, T., & Nienhaus, A. (2014). The effect of working position on trunk posture and exertion for routine nursing tasks: An experimental study. *The Annals of Occupational Hygiene*, 58(3), 317-325. doi: <https://doi.org/10.1093/annhyg/met071>
- Gajbhiye, M. T., Banerjee, D., & Nandi, S. (2020). Postural evaluation of construction labourers engaged in excavation work using newly developed NERPA method and its validation through REBA and WERA methods. In *Advances in Mechanical Engineering: Select Proceedings of ICAME 2020* (pp. 253-261). Singapore: Springer Singapore. Erişim adresi: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-3639-7_30
- Garg, A., Chaffin, D. B., & Herrin, D. G. (1978). Prediction of metabolic rates for manual materials handling jobs. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 39(8), 661-674. doi: <https://doi.org/10.1080/0002889778507831>
- Hawari, N. M., Sulaiman, R., Kamarudin, K. M., & Me, R. C. (2022). Musculoskeletal discomfort evaluation using Rapid Entire Body Assessment (REBA) and Quick Exposure Check (QEC) among woodworking workers in Selangor, Malaysia. *Asian Journal of Applied Sciences*, 10(5), 407-416. doi: <https://doi.org/10.24203/ajas.v10i5.7047>
- İşeri, A., & Arslan, N. (2009). Estimated anthropometric measurements of Turkish adults and effects of age and geographical regions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(5), 860-865. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2009.02.007>
- Kahya, E. ve Söylemez, S. (2019). Jant sektöründe QEC ve REBA yöntemleriyle ergonomik risk değerlendirmesi. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 3(2), 83-96. doi: <https://doi.org/10.33720/kisgd.644584>
- Kansu, S., Parlak, T. ve Güneri, A. F. (2021). Kaynak işlemlerinde çalışan personel için REBA metodu ile ergonomik risk değerlendirmesi: Kriyojenik Tank imalatı sektöründe bir uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(3), 952-968. doi: <https://doi.org/10.21923/jesd.872665>
- Kara, Y., Atasagun, Y., Gökçen, H. Hezer, S., & Demirel N. (2014). An integrated model to incorporate ergonomics and resource restrictions into assembly line balancing, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27(11), 997-1007. doi: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2013.874575>
- Karabacak, N. (2016). *Diş hekimlerinin çalışma duruşlarının ergonomik analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Kılıç Delice, E., Ayık, İ., Abidinoğlu, Ö. N., Çiftçi, N. N. ve Sezer, Y. (2018). Ergonomik risk değerlendirme yöntemleri ve AHP yöntemi ile çalışma duruşlarının analizi: Ağır ve tehlikeli işler için bir uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Special Issue: ERGONOMICS 2017, 112-124. doi: <https://doi.org/10.21923/jesd.364394>

- Lee, S., Heo, S., & Lee, J.Y. (2021). A pilot study to assess a risk of a high-risk group of low back pain membership in workers who perform the manual material handling tasks. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, 17, 33, e34.
- Mert, U., İde, D. ve Gündüz, T. (2022). Otomotiv sektörü progresif kalıp hattında ergonomik üretim tasarımı ile verimliliğin artırılması. *Endüstri Mühendisliği*, 33(2), 289-308. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/endustrimuhendisligi/issue/46716/585764>
- Mudiyanselage, S. E., Nguyen, P. H. D., Rajabi, M. S., & Akhavian, R. (2021). Automated workers' ergonomic risk assessment in manual material handling using sEMG wearable sensors and machine learning. *Electronics*, 10(20), 2558. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics10202558>
- Nelfiyanti, H. N. M. Z., Mohamed, N., & Rashid, M. F. F. A. (2022). Analysis of measurement and calculation of MSD complaint of chassis assembly workers using OWAS, RULA and REBA method. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 19(2), 9681-9692. doi: <https://doi.org/10.15282/ijame.19.2.2022.05.0747>
- Özcan, B. ve Yeğin, E. (2020). Lastik sektöründe OWAS ve NASA-TLX yöntemleri kullanılarak fiziksel ve zihinsel iş yükü ölçümü. *Ergonomi*, 3(1), 1-9. doi: <https://doi.org/10.33439/ergonomi.643602>
- Polat, O., Mutlu, Ö., Çakanel, H., Doğan, O., Özçetin, E. ve Şen, E. (2017). Bir mobilya fabrikasında çalışan işçilerin çalışma duruşlarının REBA yöntemi ile analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5 ÖS: Ergonomi2017, 263-268. doi: <https://doi.org/10.21923/jesd.41742>
- Sauk, H. ve Beyhan, M. A. (2016). Pnömatik fındık toplama makinası ile fındık hasadının operatör yorgunluğu üzerindeki etkilerinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(3), 370-374. doi: <https://doi.org/10.7161/omuanajas.269990>
- Sauk, H., Beyhan, M. ve Kalın Uğurlutepe, K. M. (2023). Fındığın mekanik hasadında çalışanların çalışma duruşlarının ergonomik analizi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(3), 126-138. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/tarmak/issue/74320/1137193>
- Sever, S. ve Deste, M. (2021). Üretim süreçlerinde ergonomik riskler ve risk değerlendirme yöntemleri: Civata fabrikasında bir uygulama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25, 417-441. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.892538>
- Turgut, Z. N., Danişan, T., ve Tamer, E. (2020). Spor yapanlar için en uygun akıllı saatin AHP ve PROMETHEE yöntemleri ile seçimi. *Uluslararası Beden Eğitimi Spor ve Teknolojileri Dergisi*, 1(2), 1-11. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1229389>
- Yazdanirad, S., Khoshakhlagh, A. H., Habibi, E., Zare, A., Zeinodini, M., & Dehghani, F. (2018). Comparing the effectiveness of three ergonomic risk assessment methods—RULA, LUBA, and NERPA—to predict the upper extremity musculoskeletal disorders. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 22(1), 17. Erişim adresi: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5932905/>
- Yıldız, B., Akın, N. M., Aydın, F., Gündüz, T. ve Özalp, B. T. (2022). Tekrarlı manuel işlerde fizyolojik yükün metabolik hız modellemesi ile analizi. *Endüstri Mühendisliği*, 33(2), 309-321. doi: <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1054341>
- Weiner, C., Kalichman, L., Ribak, J., & Alperovitch-Najenson, D. (2017). Repositioning a passive patient in bed: Choosing an ergonomically advantageous assistive device. *Applied Ergonomics*, 60, 22-29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.10.007>
- Zengin, M. A. ve Asal, Ö. (2020). Bina inşaatındaki çalışan duruşlarının farklı ergonomik risk değerlendirme yöntemi ile değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(3), 1615-1630. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.548028>
- Zorlutuna, A. ve Kılıç, H. S. (2022). İnşaat sektöründeki ergonomik risklerin değerlendirilmesi ve bir uygulama. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 34(1), 14-26. doi: <https://doi.org/10.7240/jeps.876378>

UÇUCU KÜL VE PERLİT ESASLI GEOPOLİMER HARÇLARDA ÇÖMLEK SIR ATIĞI İKAMESİNİN YÜKSEK SICAKLIK DAYANIKLILIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Serhat ÇELİKİTEN^{1*}, Bilal BARAN², Zahide BAYER ÖZTÜRK³

¹ Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği,
ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-8154-7590>

² Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği,
ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-2568-7035>

³ Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği,
ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-8069-0694>

Anahtar Kelimeler	Öz
Geopolimer Uçucu kül Perlit Çömlek sır atığı Yüksek sıcaklık	<i>Bu çalışmada, perlit (PT) ve uçucu kül (UK) bazlı geopolimerlere çömlek sırası atığı (ÇSA) ikamesinin mekanik özellikler ve yüksek sıcaklık performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sadece PT, sadece UK ve ağırlıkça %75 UK ve %25 PT içeriği ile üretilen geopolimer harçlara %10, 20 ve 30 oranlarında ÇSA ikame edilmiştir. Harçlar, sabit 10M NaOH içeriği ve 8 saat 100 °C ısıtma ile üretilmiştir. Üretilen harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiş ve 500 °C, 750 °C ve 1000 °C sıcaklıklarındaki performansları değerlendirilmiştir. Deneyler sonucunda, ÇSA malzemesinin PT ve UK+PT içeren numunelere kütlece %20 oranına kadar ikame edilmesinin nihai basınç dayanımı açısından olumlu yönde etkileri olduğu, UK içeren numunelerde ise ÇSA ikamesinin nihai basınç dayanımı açısından olumsuz etkileri olduğu tespit edilmiştir. Nihai dayanımlarda en yüksek değerler, 34.4 ve 32.41 MPa basınç ve 6.46 ve 6.3 MPa eğilme dayanımları ile UK+PT+ÇSA içeren numunelerde sırasıyla %10 ve 20 ÇSA oranlarında elde edilmiştir. Eğilme ve basınç dayanımları açısından optimum ÇSA oranının %10-20 aralığında olduğu söylenebilir. UK malzemesine ÇSA malzemesinin ikamesi, kür yaşına göre dayanım gelişimlerini olumsuz etkilerken, PT ve UK+PT içeren numunelere ÇSA malzemesi ikamesi dayanım gelişimlerinde olumlu etkiler meydana getirmiştir. ÇSA malzemesi yüksek sıcaklık performansı açısından tüm gruplarda olumlu etki meydana getirmiştir. ÇSA malzemesinin karışımlarda kütlece ikame yüzdesi arttıkça, dayanım kayıpları azalmıştır. UK malzemesinin yerine %30 ÇSA malzemesinin ikame edildiği numunelerde 750 °C'de %40'a varan dayanım artışı tespit edilmiştir.</i>

THE EFFECT OF POTTERY GLAZE WASTE SUBSTITUTION ON HIGH-TEMPERATURE RESISTANCE OF FLY ASH AND PERLITE-BASED GEOPOLYMER MORTARS

Keywords	Abstract
Geopolymer Fly ash Perlite Pottery glaze waste High temperature	<i>In this study, the effect of substituting pottery glaze waste (PGW) into perlite (PT) and fly ash (FA) based geopolymers on mechanical properties and high-temperature performance has been investigated. Geopolymer mortars were produced with only PT, only FA, and a mixture of 75% FA and 25% PT by weight. PGW was substituted in these geopolymers at rates of 10%, 20%, and 30%. The mortars were produced with a constant 10M NaOH content and subjected to an 8-hour thermal curing at 100 °C. The flexural and compressive strengths of the produced mortars were determined at 7, 28, and 90 days, and their performance at temperatures of 500 °C, 750 °C, and 1000 °C was evaluated. As a result of the experiments, it has been determined that substituting PGW in specimens containing PT and FA +PT up to 20% by weight has a positive effect on the ultimate compressive strength. However, in samples containing FA, the substitution of PGW has been found to have negative effects on the ultimate compressive strength. The highest values in strengths were achieved in samples containing FA+PT+PGW, with compressive strengths of 34.4 and 32.41 MPa, and flexural strengths of 6.46 and 6.3 MPa, respectively, at PGW substitution rates of 10% and 20%. It can be stated that the optimum PGW substitution rate is in the range of 10-20% in terms of flexural and compressive strengths. Substituting PGW material into FA adversely affects strength development based on curing age, while substituting PGW material in samples containing PT and FA+PT has positive effects on strength. The PGW material has had a positive effect on high-temperature performance in all groups. As the mass substitution percentage of PGW</i>



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/>).

material increased in the mixtures, strength losses decreased. In samples where 30% of the FA material was substituted with PGW, a strength increase of up to 40% was observed at 750 °C.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 02.02.2024

Kabul Tarihi : 23.05.2024

* Sorumlu yazar: scelikten@nevsehir.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1430527>

Research Article

Submission Date : 02.02.2024

Accepted Date : 23.05.2024

1. Giriş

Portland çimentosu üretimi sebebiyle meydana gelen çevresel ve ekonomik sorunlar, atık toz malzemelerin bağlayıcı olarak kullanımının ve alkali ile aktive edilen geopolimer kompozitlerin araştırılmasına yol açmıştır (Çelikten vd., 2019; Durak vd., 2021; Duxson vd., 2007; Hossain vd., 2015; Provis, 2014). Geopolimerler, uçucu kül gibi alüminosilikat içerikli malzemelerin alkali aktivatörler ile karıştırılmasıyla üretilmektedir (Atabey vd., 2020; Uğurlu vd., 2021; Ulugöl vd., 2021). Günümüzde çeşitli puzolanların farklı çözeltilerle karıştırılarak çimento içermeyen bağlayıcıların üretimini konu olan çalışmalar yapılmaktadır (Hojati ve Radlińska, 2017; Provis ve Bernal, 2014; Saridemir ve Celikten, 2017).

Ham perlit (genleşmemiş), perlit cevherinin kırılma, öğütme ve derecelendirme işlemleri ile elde edilmektedir. Perlit (PT), alümina (Al_2O_3) ve silisyum dioksit (SiO_2) içeriği ile geopolimer üretiminde potansiyele sahiptir (Demirboğa ve Gül, 2003; Işıkdığ, 2015). Perlit malzemesinin bol miktarda bulunması ve bazı ülkelerde kolay ulaşılabilir olması, ham perlitin geopolimer hammaddesi olarak kullanımının araştırılmasına imkan sunmaktadır (Çelikten ve Işıkdığ, 2020; Erdogan, 2015). Termik santral atığı olan UK malzemesi ise en çok kullanılan geopolimer hammaddelerinden biri olmakla birlikte, UK miktarının gelecekte azalacağı öngörülmektedir. Bu nedenle geopolimer üretiminde UK malzemesi yerine farklı atık malzemelerin kullanılması, kaynakların verimli kullanılması açısından önemlidir.

Çömlek üzeri kaplamalar, çanak çömlek grubu ürünlerin elle ya da kazıma yöntemiyle üzerine farklı renklerde kil sürülerek ya da içine boya karıştırılan sırlarla süslenmesinde kullanılan astar veya boyalı sırlar olarak tanımlanabilmektedir (Doğan, 2018). Nemli çömlekler üzerinde, çömlek çamurundan yapılan kaplamalar, ıslak çömlekler üzerinde yarı ya da yarıdan biraz fazla pişmemiş killer kullanılmaktadır (Işıkhani, 2015). Hem kullanılan boya ve killer hem de nemli-ıslak çömlek ürünlerden bileşim içine dâhil olabilen kil, kopan, ayrılan parça vb. ile bu kaplamalar zamanla kullanılamaz duruma gelmekte ve tanklarda bekletilip atık olarak kenara ayrılmaktadır. İşlem yapılan ürünlerin nem seviyesinin yüksek olması da çömlek

sır/kaplama atık (ÇSA) miktarının artmasında etken oluşturmaktadır.

UK ve PT malzemelerinin geopolimer hammaddesi olarak kullanıldığı kapsamlı araştırmalar bulunmaktadır. Durak vd. (2021), UK esaslı geopolimer harçların ısıl kür öncesi ön dinlendirme süresinin mekanik özellikleri ve mikroyapıları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. ısıl kür öncesi ön dinlendirmeye tabi tutulan numunelerin, ön dinlendirmesiz numunelere göre mekanik özelliklerinde iyileşme sağlandığı ifade edilmiştir. Ayrıca, ön dinlendirme işleminin geopolimerik reaksiyon ürünlerini artırdığını ve daha yoğun bir mikroyapı meydana getirdiği tespit edilmiştir. Bakharev (2005), çalışmasında F sınıfı UK esaslı geopolimer malzemelerin yüksek sıcaklıkta kürlenmesinin faz bileşimi, mikroyapı ve mukavemet gelişimi üzerindeki etkisini araştırmıştır. ısıl kür işleminden önce oda sıcaklığındaki uzun ön kürlenmenin, mukavemet gelişimi için faydalı olduğu ifade edilmiştir. Geopolimer numunelerdeki ana reaksiyon ürününün amorf alkali alüminosilikat jeli olduğunu ve buna ek olarak şabazit, Linde Tip A, Na-P1 (gismondin) zeolitler ve hidroksisodalit ürünlerinin de meydana geldiği belirtilmiştir. Reaksiyonlar ile oluşan zeolit türünün ve alüminosilikat jelin bileşiminin kürlenme geçmişine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Atabey vd. (2020), farklı F sınıfı UK içeren geopolimer numunelerde kullanılan Na miktarının %6'dan %15'e çıkarılmasının dayanıklılık özellikleri üzerinde olumlu etkisi olduğunu ifade etmişlerdir. Dayanıklılık deneylerinde, sadece sodyum hidroksit içeren numunelerin, sodyum hidroksit ve sodyum silikat içeren numunelere göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Çelikten ve Işıkdığ (2020), geopolimer numunelerde PT ve sodyum hidroksit içeren, farklı sıcaklık ve sürelerde ısıl kür işlemine tabi tutulan numunelerin dayanımlarını ve mikroyapılarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, artan ısıl kür süresi ve sıcaklıklarına ek olarak artan NaOH molaritesi ile dayanım değerlerinin arttığı ifade edilmiştir. En yüksek dayanıma (41,59 MPa) sahip numunelerde reaksiyona girmemiş, zayıf ve iyi reaksiyona girmiş PT, mikro çatlak oluşumları gözlenmiştir. XRD analizinde kuvars albit ve lösit mineralleri için pikler görüldüğü bildirilmiştir. Işıkdığ (2015), çalışmasında geliştirilmiş PT esaslı harç içeren hafif ferrocement panellerin sehim ve çatlakları incelenmiştir. Çimento oranı arttıkça geliştirilmiş PT

esaslı harçların basınç dayanımının arttığı, çatlak genişliklerinin azaldığı bildirilmiştir. Genleşmiş PT malzemesinin agrega olarak kullanımının, harçlarda mikro gözenek oluşumunun başlamasını hızlandırdığı, bu sebeple mukavemet ve birim ağırlık parametrelerinde düşüşe yol açtığı tespit edilmiştir. Dişçi ve Polat (2022), PT içeren geopolimere nanomalzemeler ekleyerek mekanik özelliklerde iyileştirilme amaçlamışlardır. Nano Al_2O_3 'ün PT esaslı geopolimer numunelerde basınç dayanımı açısından etkili olduğu ve optimum kür koşulunun ısı+ortam kürü olduğu bildirilmiştir. Nano malzemelerin kullanımının çatlak ve gözenek oluşumunu engellediği ve numunelerdeki makro gözenek sayısının azaltılmasında fayda sağladığı ifade edilmiştir. El-Mir vd. (2023), bağlayıcı içeriği, atık PT tozu ikame oranı, alkali aktivatör-bağlayıcı oranı ve sodyum silikat-sodyum hidroksit oranının yüksek fırın cürufu ve atık PT tozu içeren geopolimer harçlarda taze, mekanik ve dayanıklılık performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Atık PT tozu ve yüksek fırın cürufu içeren harçların basınç dayanımının, %0-50 atık PT tozu kullanımı, 0.60-0.70 s/b ve 1.0-2.0 sodyum silikat-sodyum hidroksit aralıklarında 40 MPa'yı aştığı belirtilmiştir. Atık PT tozu oranı arttıkça ortalama nihai priz süresinin de arttığı ifade edilmiştir. SEM ve EDX analizleri sonucunda, atık PT tozu içeren harçlarda C-A-S-H ve C-S-H jellerinden oluşan kohezyonlu ve yoğun bir mikroyapı elde edildiği ve optimum oranın %25 olduğu tespit edilmiştir. Acar vd. (2023), çalışmalarında ham PT ve standart kumun alkali aktivasyonuna dayalı çimentosuz hafif harçlar üretmeyi amaçlamışlardır. Karışımlarda PT, alkali aktivatörler ($NaOH$ ve Na_2SiO_3) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, karışımlara PT kütlelerine göre %0,25 H_2O_2 kullanımının, nihai dayanımda kayda değer bir kayıp olmadan daha düşük yoğunluk ve daha düşük termal iletkenlik katsayısına sahip hafif harçların üretilmesini sağladığını belirtmişlerdir. İşlenebilirlik, mukavemet, yoğunluk ve termal iletkenlik özellikleri açısından optimum oranların H_2O_2 /PT oranının %0,25 ve Su/PT yüzdesinin %40 olması önerilmiştir. Baran vd. (2021), sodyum hidroksit ve hidrotermal yöntemle zeolit sentezinden elde edilen sıvı kalıntı kullanarak UK ve PT bazlı geopolimer numuneler üretmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda, %10 PT ilavesinin malzeme elastikiyetinde artış sağlarken, basınç dayanımını %40 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, hidrotermal yöntemle zeolit sentezinden elde edilen sıvı kalıntı içeren numunelerin, $NaOH$ kullanılarak elde edilen numunelere göre daha düşük basınç dayanımına sahipken, daha yüksek ısı yalıtım özelliklerine sahip olduğu belirtilmiştir.

Yüksek sıcaklık direnci, yangın durumunda inşaat malzemeleri için önemli bir özelliktir (Saridemir ve Bulut, 2021). Isı, kararlılıkları ve moleküler yapıları üzerindeki etkisi nedeniyle etkilenen maddelerin özelliklerini değiştirir. Yüksek sıcaklığın F sınıfı UK veya

PT bazlı geopolimerlerin mekanik ve mikroyapısal özellikleri üzerindeki etkisi üzerine yapılmış kapsamlı çalışmalar bulunmaktadır (Amran vd., 2021; Zhang vd., 2020). Zhang vd. (2020), metakaolin ve UK içeren geopolimer beton üzerinde 700 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda yaptıkları deneyler ile geopolimer betonun yüksek sıcaklık performansını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda geopolimer numunelerin referans numunelere kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği, yüksek sıcaklık sebebiyle daha düşük dayanım kaybı meydana geldiği ifade edilmiştir. Geopolimer betonda gerçekleşen sinterleme reaksiyonu nedeniyle, özellikle 500 °C üzerinde, geçirgenliğin yüksek oranda etkilendiği bildirilmiştir. Çelikten vd. (2020), alkali ile aktive edilmiş cüruf harçlarına kalsine PT ilavesinin mekanik ve yüksek sıcaklık performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, kalsine PT oranının artışı harçların eğilme ve basınç dayanım değerlerinde olumsuz etkiler meydana getirirken, numunelerin yüksek sıcaklık performanslarında önemli ölçüde iyileştirme sağladığı belirtilmiştir. Photisan ve Sangphong (2022), çalışmalarında UK ve PT içeren geopolimer harçlarda kısmi ince agrega ikamesi olarak geri dönüştürülmüş atık camı kullanmışlardır. PT, UK ikamesi olarak %0-40 oranlarında kullanılmıştır. Harçların işlenebilirliğinin ve basınç dayanımının PT içeriği ile beraber azaldığı belirtilmiştir. UK ve PT içeren geopolimer harçların 28 günlük dayanımları 44-51 MPa aralığında tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklık (500 °C) deneyi sonuçlarında ise en yüksek dayanım 95 MPa ile %70 UK, %30 PT içeriğinden elde edilmiştir. Turhan vd. (2021), geopolimer beton üretiminde PT ve kırmızı çamur kullanmışlardır. 90 °C'de 72 saatlik ısıl kürün ardından, basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve her bir karışımdan alınan numuneler 50 donma-çözülme döngüsüne ve üç farklı yüksek sıcaklığa (300 °C, 500 °C ve 700 °C) maruz bırakılmıştır. Deneyler sonucunda, kırmızı çamur içeren karışımların basınç dayanımlarının %100 PT içerenlere göre daha yüksek olduğu, diğer yandan, donma-çözünme ve yüksek sıcaklık performansı açısından %100 PT içeren karışımların kırmızı çamur içeren karışımlara kıyasla daha yüksek dayanıklılığa sahip olduğu belirtilmiştir. Çelikten ve Erdoğan (2022), ince öğütülmüş ham PT ve F Sınıfı UK içeren geopolimer karışımların yüksek sıcaklık performansını incelemişlerdir. Geopolimer harçlar 90 °C'de 4, 8 ve 24 saat ısıl kür işlemi ve farklı UK/P kütle oranlarıyla üretilmiştir. Ayrıca geopolimer harçlar, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Deneyler sonucunda, optimum sonuçlar 75/25 UK/PT kütle oranı ile üretilen geopolimer harçlarda tespit edilmiştir. Numunelerin 800 °C sonrası eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin, 600 °C sonrası değerlerden daha yüksek olduğu, 800 °C sıcaklık etkisinde yeni kristal fazlar oluştuğu belirtilmiştir. Literatürde çömek sırası atığı malzemesinin geopolimer malzemelerde kullanımı ile ilgili herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, perlit (PT)

Tablo 1. UK, PT ve ÇSA kimyasal kompozisyonu

Oksit (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	K. K.
UK	61.49	21.87	7.91	1.86	1.82	0.71	1.23	0.27	-	-	2.84
PT	72.46	13.38	1.02	1.13	0.23	-	3.31	5.29	0.21	-	2.97
ÇSA	55.87	16.13	6.15	4.55	2.05	0.08	0.76	2.78	0.66	0.10	10.57

ve uçucu kül (UK) bazlı geopolimerlere çömlek sır atığı (ÇSA) ilavesinin mekanik özellikler ve yüksek sıcaklık performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında geopolimer harçlarda F sınıfı uçucu kül (UK), ince öğütülmüş ham perlit (PT) ve çömlek sır atığı (ÇSA) malzemeleri kullanılmıştır. PT malzemesi Türkiye'deki Kütahya ilinde bulunan Genper Şirketler Grubu'ndan temin edilmiştir. PT malzemesi perlit cevherinin kırılma, öğütülme ve derecelendirilme işlemleri ile elde edilmiştir. PT malzemesinin özgül ağırlığı 2.32 g/cm³, 45 µm elek üzerindeki kalıntısı %28'dir. UK malzemesi ise Sugözü termik santralinden (Adana, Türkiye) temin edilmiştir. UK malzemesinin 45 µm elek üzerindeki kalıntısı %21 ve özgül ağırlığı 2,29 g/cm³'dür. Buna ek olarak, çömlek sır atığı malzemesi Anadolu Çömlekçilik fabrikasından (Nevşehir) temin edilmiş, kurutulduktan sonra bilyeli değirmende 63 mikron altına geçecek şekilde öğütmeye tabi tutulmuştur. ÇSA, PT ve UK malzemelerinin oksit bileşimleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Harç karışımlarında, alkali aktivatör olarak 10M sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan dere kumunun tane dağılımı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Dere kumuna ait tane dağılımı

Elek Çapı, mm	Geçen, %
4.00	100
2.00	94.6
1.00	59.1
0.5	37.2
0.25	20.6
0.125	12.5
0.063	5.7
Tava	0

Bu çalışmada 3 farklı seride 12 farklı geopolimer harç karışımı oluşturulmuştur. 1. seride uçucu kül, 2. seride ise perlit yerine %10, 20 ve 30 oranlarında Al, Si ve Ca bakımından zengin ÇSA ikame edilerek harç karışımları oluşturulmuştur. 3. seride ise literatürde daha önce belirlenen (Çelikten ve Erdoğan, 2022) en uygun UK/PT kütle oranı olan 75/25 oranı ile üretilen harçlara %10, 20 ve 30 oranlarında ÇSA ikame edilmiştir. Üç hücreli 40 × 40 × 160 mm boyutlarındaki kalıplar için karışımlarda kullanılan malzeme miktarları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Harçlar, UK, PT, ÇSA hammaddeleri, dere kumu ve 10 M NaOH çözeltisi karıştırılarak TS EN 196-1 (2016),

Tablo 3. Harç karışımları, gr

Karışım	UK	PT	ÇSA	NaOH	Su	Kum
UK100	450	-	0	80	200	1300
UK90ÇSA10	405	-	45	80	200	1300
UK80ÇSA20	360	-	90	80	200	1300
UK70ÇSA30	315	-	135	80	200	1300
P100	-	450	0	80	200	1300
P90ÇSA10	-	405	45	80	200	1300
P80ÇSA20	-	360	90	80	200	1300
P70ÇSA30	-	315	135	80	200	1300
UKP0	337.5	112.5	-	80	200	1300
UKP10	303.75	101.25	45	80	200	1300
UKP20	270	90	90	80	200	1300
UKP30	236.25	78.75	135	80	200	1300

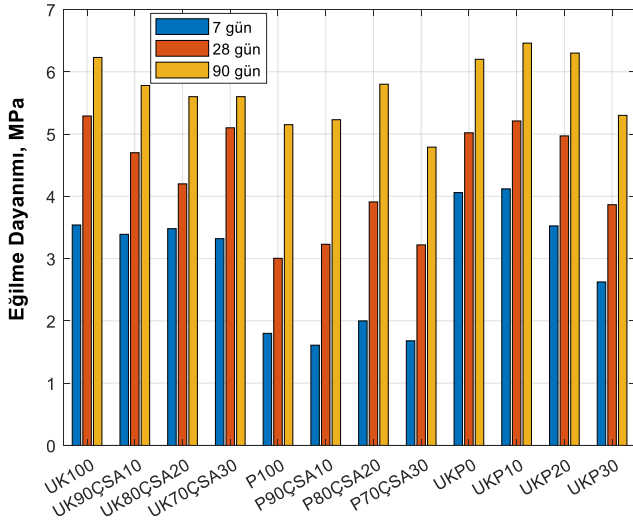
standardına göre üretilmiştir. Geopolimer harç numuneleri dökümden 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve 8 saat 100 °C ısıtma şartlarında kürlenmiştir. Numuneler 100 °C'deki ısıtma kürden sonra deney gününe kadar laboratuvar ortamında kürlenmiştir.

Geopolimer numuneler üzerinde 7, 28 ve 90 günlük eğilme ve basınç dayanımı deneyleri TS EN 1015-11/A1 (2020)'e göre gerçekleştirilmiştir. Tüm eğilme ve basınç dayanımı değerleri, her karışım için üç numunenin ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Numunelerin yüksek sıcaklık performanslarını belirlemek için yapılan deneylerde 90 gün boyunca kürlenmiş numuneler, ısıtma hızı 5 °C/dakika olacak şekilde 1 saat boyunca sırasıyla 500 °C, 750 °C ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Fırın kapatıldıktan sonra numuneler soğumaya bırakılmıştır. Buna ek olarak, 500 °C, 750 °C'ye maruz bırakılan numuneler üzerinde eğilme ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yüksek sıcaklık nedeniyle numunelerde meydana gelen kütle değişimleri de ölçülmüştür.

3. Bulgular

3.1 Eğilme Dayanımı

Çalışma kapsamında 7, 28 ve 90 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilen eğilme dayanımı deneylerinin sonuçları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımları

ÇSA malzemesi içermeyen UK100, P100 ve UKP0 gruplarının 7, 28 ve 90 günlük dayanımları sırasıyla 1.8-4.06 MPa, 3.0-5.29 MPa ve 5.15-6.23 MPa aralıklarında elde edilmiştir. ÇSA malzemesini içermeyen karışımlarda en yüksek eğilme dayanımları sadece UK içeren (UK100) ve 75/25 UK/P içeren (UKP0) numunelerde tespit edilmiştir. Sadece PT içeren P100 grubunda diğer gruplara göre nispeten daha düşük eğilme dayanımları tespit edilmiştir. Karışımlara ÇSA malzemesinin ilave edilmesi, UK+ÇSA malzemesini içeren grupta eğilme dayanımlarında olumsuz bir etki meydana getirirken, PT+ÇSA, UK+PT+ÇSA içeren grupların, %20 ÇSA içeriğine kadar, 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımlarında sırasıyla %11, %30 ve %12 artışlar ile olumlu etki göstermiştir. 7 günlük dayanımlar değerlendirildiğinde en yüksek eğilme dayanımı 4.12 MPa olarak UK+PT malzemelerine kütlece %10 ÇSA malzemesi ilave edilen UKP10 grubunda elde edilmiştir. 28 günlük dayanımlarda ise en iyi performansı sırasıyla 5.29 ve 5.02 MPa ile UK100 ve UKP10 grupları göstermiştir. Buna ek olarak, 90 günlük dayanımlarda PT+ÇSA içeren numunelerde %10-20 ÇSA oranlarında sırasıyla 5.23 ve 5.8 MPa, UK+PT+ÇSA içeren numunelerde ise sırasıyla 6.46 ve 6.3 MPa eğilme dayanımları ile diğer gruplara göre yüksek eğilme dayanımları tespit edilmiştir.

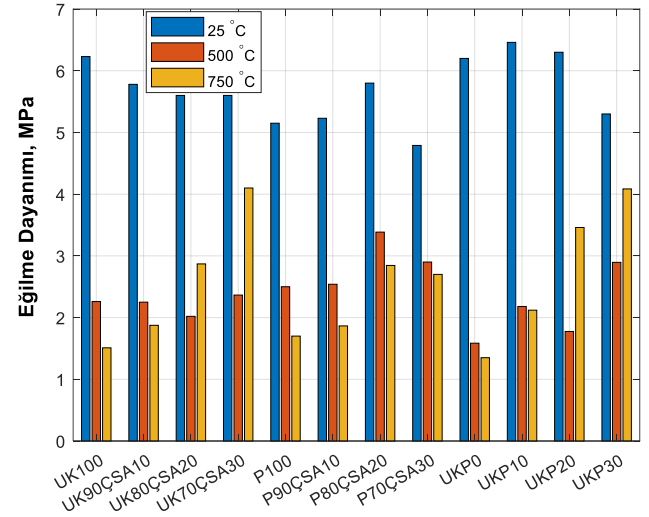
ÇSA malzemesinin kullanımının kür yaşına göre dayanım gelişimleri üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde, UK+ÇSA içeren numunelerde ÇSA malzemesi, kür yaşına göre dayanım gelişimlerini olumsuz etkilerken, PT+ÇSA ve UK+PT+ÇSA içeren numunelerde dayanım gelişimlerinde olumlu etkiler meydana getirmiştir.

Şekil 2'de gösterildiği şekliyle 1000 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler bütünlüklerini koruyamadıklarından 1000 °C sıcaklık etkisinde eğilme dayanımı değerleri elde edilememiştir.



Şekil 2. 1000 °C sıcaklık deneyi sonrası numunelerin dış görünüşleri

Çalışma kapsamında 500 °C ve 750 °C sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler üzerinde gerçekleştirilen eğilme dayanımı deneylerinin sonuçları Şekil 3'te verilmiştir.



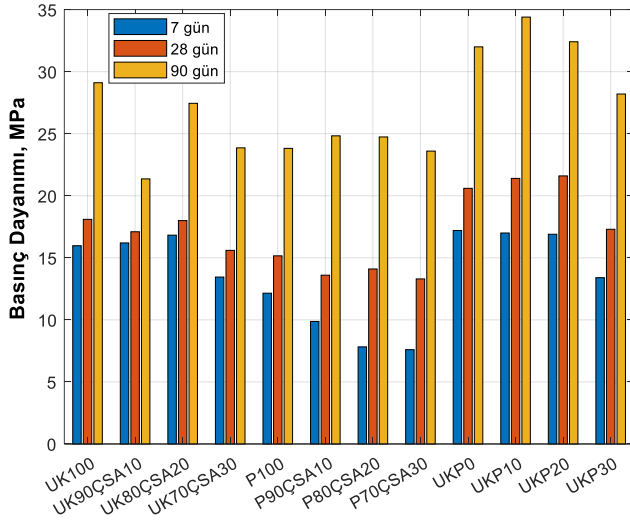
Şekil 3. Harçların yüksek sıcaklık (500 °C, 750 °C) deneyleri sonrası eğilme dayanımları

Geopolimer numunelerdeki dayanım kayıpları yüzdesel olarak incelendiğinde, ÇSA malzemesi içermeyen UK100, P100 ve UKP0 gruplarında 500 °C ve 750 °C sıcaklıklarda meydana gelen dayanım kayıpları sırasıyla %63.72-75.76, %51.46-66.99 ve %74.44-78.23'tür. ÇSA malzemesinin karışımlarda kütlece yüzdesinin %30 olduğu durumda 500 °C'deki dayanım kayıpları %39.46'ya kadar, 750 °C'de ise dayanım kayıpları %22.92'ye kadar gerilemiştir. UK+ÇSA ve UK+PT+ÇSA içeren numunelerden %20 ve %30 ÇSA ilavesi olan gruplarda 500 °C'de %63.93'e varan dayanım kayıpları görülürken, 750 °C'de %48.75'e varan dayanım kaybı tespit edilmiştir. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda, UK+ÇSA ve UK+PT+ÇSA içeren numuneler %20 ve %30 ÇSA ilavesinde 750 °C'de 500 °C'ye göre daha yüksek performans göstermiştir.

ÇSA malzemesinin karışımlara ilave edilmesi yüksek sıcaklık performansı açısından tüm gruplarda olumlu etki göstermiştir. ÇSA malzemesinin karışımlarda kütlece yüzdesi arttıkça, dayanım kayıpları azalmıştır.

3.2 Basınç Dayanımı

Çalışma kapsamında 7, 28 ve 90 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımı deneylerinin sonuçları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları

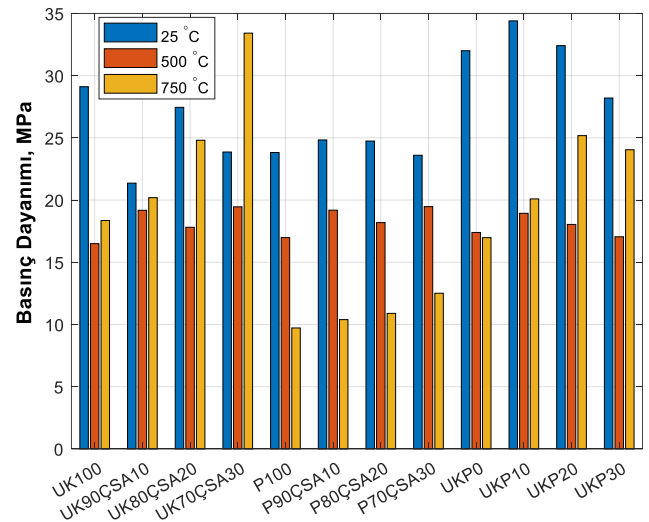
ÇSA malzemesi içermeyen UK100, P100 ve UKP0 gruplarının 7, 28 ve 90 günlük dayanımları sırasıyla 12.15-17.12 MPa, 15.16-20.6 MPa ve 23.82-32 MPa aralıklarında elde edilmiştir. ÇSA malzemesini içermeyen karışımlarda en yüksek basınç dayanımları sadece UK içeren (UK100) ve 75/25 UK/PT içeren (UKP0) numunelerde tespit edilmiştir. Sadece PT içeren P100 grubunda diğer gruplara göre nispeten daha düşük basınç dayanımları tespit edilmiştir. Karışımlara ÇSA malzemesinin ilave edilmesi ile UK ve ÇSA malzemesini içeren grupta %20 ÇSA içeriğine kadar, 7 günlük basınç dayanımlarında %5.3'e varan artışlar elde edilirken; UK+ÇSA, PT+ÇSA ve UK+PT+ÇSA içeren diğer tüm gruplarda 7 günlük basınç dayanımında düşüşler meydana gelmiştir. Buna ek olarak, 28 günlük basınç dayanımlarında UK+PT+ÇSA içeren numunelerde %20 ÇSA içeriğine kadar %4.85'e varan dayanım artışları elde edilmiştir. 90 günlük basınç dayanımlarında ise yine %20 ÇSA içeriğine kadar PT+ÇSA ve UK+PT+ÇSA içeren gruplarda sırasıyla %4.24 ve %7.5 dayanım artışları tespit edilmiştir.

Bu değerler genel olarak değerlendirildiğinde, ÇSA malzemesinin PT ve UK+PT içeren numunelere kütlece %20 oranına kadar ilave edilmesinin nihai basınç dayanımı açısından olumlu yönde etkileri olduğu, UK içeren numunelerde ise ÇSA ilavesinin ise nihai basınç dayanımı açısından olumsuz etkileri olduğu söylenebilir. 7 günlük dayanımlar değerlendirildiğinde ÇSA içeren gruplar arasında en yüksek basınç dayanımı 17 MPa olarak UK+PT malzemelerine kütlece %10 ÇSA malzemesi ilave edilen UKP10 grubunda elde edilmiştir. 28 günlük dayanımlarda ise en iyi performansı sırasıyla 21.4 ve 21.6 MPa ile UKP10 ve UKP20 grupları göstermiştir. Buna ek olarak, 90 günlük dayanımlarda UK+PT+ÇSA içeren numunelerde %10-20 ÇSA

oranlarında sırasıyla 34.4 ve 32.41 MPa basınç dayanımları ile diğer gruplara göre daha yüksek dayanımlar tespit edilmiştir.

ÇSA malzemesinin kullanımının kür yaşına göre basınç dayanımı gelişimleri üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde, eğilme dayanımlarındaki gelişimlerle uyumlu olarak, UK+ÇSA içeren numunelerde ÇSA malzemesi, kür yaşına göre dayanım gelişimlerini olumsuz etkilerken, PT+ÇSA ve UK+PT+ÇSA içeren numunelerde dayanım gelişimlerinde olumlu etkiler meydana getirmiştir.

Çalışma kapsamında 500 °C ve 750 °C sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımı deneylerinin sonuçları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Harçların yüksek sıcaklık (500 °C, 750 °C) deneyleri sonrası basınç dayanımları

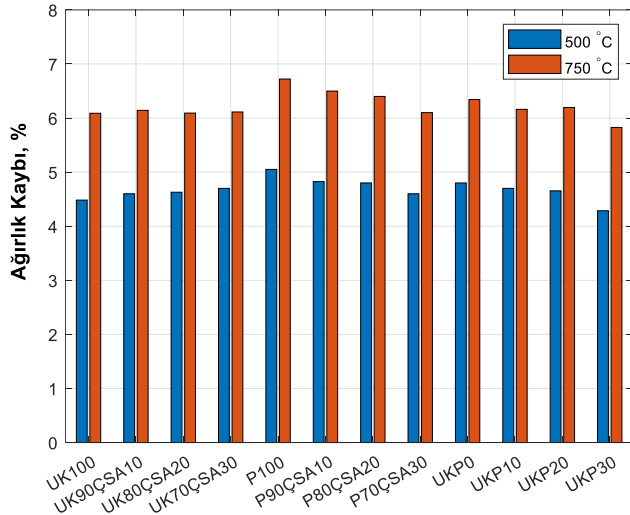
Şekil 2'de gösterildiği şekliyle 1000 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler bütünlüklerini koruyamadıklarından 1000 °C sıcaklık etkisinde basınç dayanımı değerleri elde edilememiştir. Geopolimer numunelerdeki dayanım kayıpları yüzdesel olarak incelendiğinde, ÇSA malzemesi içermeyen UK100, P100 ve UKP0 gruplarında 500 °C ve 750 °C sıcaklıklarda meydana gelen dayanım kayıpları sırasıyla %43.33-36.94, %28.72-59.19 ve %45.64-46.95'tir.

ÇSA malzemesinin karışımlarda kütlece yüzdesinin %30 olduğu durumda 500 °C'deki dayanım kayıpları %17.50'ye kadar, 750 °C'de ise dayanım kayıpları %9.64'e kadar gerilemiş ve bu sonuçlara ek olarak UK+ÇSA içeren numunelerde ÇSA oranının %30 olduğu durumda 750 °C'de %40'a varan dayanım artışı elde edilmiştir. Sır malzemesinin karışımlara ilave edilmesi yüksek sıcaklık performansı açısından tüm karışımlarda olumlu sonuç verirken; UK+ÇSA içeren gruplar en yüksek performansa sahiptir. PT+ÇSA ve UK+PT+ÇSA içeren numuneler karşılaştırıldığında, PT+ÇSA içeren gruplar 500 °C'de, UK+PT+ÇSA içeren gruplar ise 750 °C'de daha iyi performans göstermiştir. UK+ÇSA ve

UK+PT+ÇSA içeren numunelerden %20 ve %30 ÇSA ilavesi olan gruplarda 500 °C'de %44.34'e varan dayanım kayıpları görülürken, 750 °C'de %40'a varan dayanım artışı tespit edilmiştir. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda, eğilme dayanımlarındaki malzeme davranışına benzer olarak, UK+ÇSA ve UK+ PT+ÇSA içeren numuneler %20 ve %30 ÇSA ilavesinde 750 °C'de 500 °C'ye göre daha yüksek performans göstermiştir. Bazı geopolimer bağlayıcılarda belirli bir sıcaklık seviyesinden daha yüksek sıcaklıklarda faz dönüşümleri meydana gelebilmektedir (Amran vd., 2021). Bu faz dönüşümleri de mekanik özelliklerde değişimlere yol açmaktadır. 750 °C etkisi sonrasında 500 °C'ye göre daha yüksek dayanım değerleri elde edilmesinin nedeni faz dönüşümleri olabilir. ÇSA malzemesinin karışımlara ilave edilmesi yüksek sıcaklık performansı açısından tüm gruplarda iyi performans göstermiştir. ÇSA malzemesinin karışımlarda kütlece yüzdesi arttıkça, dayanım kayıpları genel olarak azalmış ve dayanım artışı görülen numuneler de olmuştur. Literatürde, hem yüksek Si/Al oranının hem de CaO içeriğinin geopolimer harçlarda basınç dayanımı değerlerini arttırdığı belirtilmektedir (Bayer Öztürk ve Çam, 2023; Davidovits, 1989). Buna göre hem Si/Al, CaO içeriği yüksek olan çömlek sırtı atığı hem de uçucu küllü harçlara kıyasla belirtilen içeriğin yüksek olduğu PT+ÇSA içeren numunelerin basınç dayanımlarının bu nedenle arttığı düşünülmektedir.

3.3 Ağırlık Kayıpları

Çalışma kapsamında 500 °C ve 750 °C sıcaklıklara maruz bırakılan numunelerdeki yüzdesel ağırlık kayıpları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Harçların yüksek sıcaklık (500 °C, 750 °C) deneyleri sonrası ağırlık kayıpları

1000 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler bütünlüklerini koruyamadıklarından 1000 °C sıcaklık sonrası ağırlık kayıpları elde edilememiştir. ÇSA malzemesi içermeyen UK100, P100 ve UKP0 gruplarında 500 °C ve 750 °C sıcaklıklarda meydana

gelen ağırlık kayıpları yüzdesel olarak sırasıyla %4.5-6.1, %5.1-6.7 ve %4.8-6.3'tür. Karışımlardaki PT içeriğinin artışıyla meydana gelen yüksek ağırlık kayıplarının nedeni olarak PT malzemesinin sahip olduğu bünyesel su gösterilebilir (Singh ve Garg, 1991). PT+ÇSA ve UK+PT+ÇSA içeren numunelerde ÇSA malzemesinin oranı arttıkça, yüksek sıcaklık sebebiyle meydana gelen ağırlık kayıpları %4.3'e kadar gerileyerek olumlu bir etki göstermiştir. UK+ÇSA içeren numunelerde ise ÇSA oranı arttıkça, ağırlık kayıplarında 500 °C'de sınırlı bir artış görülürken, 750 °C'de ağırlık kayıpları %6.1 olarak sabit kalmıştır. Genel olarak UK+ÇSA grupları hariç diğer tüm gruplarda ÇSA malzemesinin ilave edilmesi yüksek sıcaklık etkisinde meydana gelen ağırlık kayıpları açısından olumlu etkiler göstermiştir. ÇSA malzemesinin ikamesi harçlardaki PT miktarının azalmasına, dolayısıyla da bünyeden buharlaşacak suyun da daha az olmasına yol açtığı için ağırlık kayıpları azalmıştır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, perlit (PT) ve uçucu kül (UK) bazlı geopolimerlere çömlek sırtı atığı (ÇSA) ikamesinin mekanik ve yüksek sıcaklık performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- ÇSA malzemesinin PT ve UK+PT içeren numunelere kütlece %20 oranına kadar ikame edilmesinin nihai basınç dayanımı açısından olumlu yönde etkileri olduğu, UK içeren numunelerde ise ÇSA ikamesinin ise nihai basınç dayanımı açısından olumsuz etkileri olduğu tespit edilmiştir.
- Nihai dayanımlarda en yüksek değerler, 34.4 ve 32.41 MPa basınç ve 6.46 ve 6.3 MPa eğilme dayanımları ile UK+PT+ÇSA içeren numunelerde sırasıyla %10 ve %20 ÇSA oranlarında elde edilmiştir. Eğilme ve basınç dayanımları açısından optimum ÇSA oranının %10-20 aralığında olduğu söylenebilir.
- Eğilme ve basınç dayanımları açısından geopolimerlerde UK malzemesi yerine ÇSA malzemesinin ikamesi, kür yaşına göre dayanım gelişimlerini olumsuz etkilerken, PT ve UK+PT içeren numunelere ÇSA malzemesinin ikame edilmesi dayanım gelişimlerinde olumlu etkiler meydana getirmiştir.
- ÇSA malzemesinin karışımlarda kullanılması yüksek sıcaklık performansı açısından tüm gruplarda olumlu etki meydana getirmiştir. ÇSA malzemesinin karışımlardaki kütlece yüzdesi arttıkça, dayanım kayıpları azalmıştır. Buna ek olarak, UK malzemesi yerine %30 ÇSA malzemesinin ikame edildiği UK70ÇSA30 karışımında 750 °C'de %40'a varan dayanım artışı tespit edilmiştir.
- UK+ÇSA içeren numunelerde ÇSA oranı arttıkça, ağırlık kayıplarında 500 °C'de sınırlı bir artış

görüldürken, 750 °C'de ağırlık kayıpları sabit kalmıştır. Genel olarak UK+ÇSA grupları hariç diğer tüm gruplarda ÇSA malzemesinin ilave edilmesi yüksek sıcaklık etkisinde meydana gelen ağırlık kayıplarını azaltmıştır.

Teşekkür

Yazarlar, çömlük sır atığı temini için Anadolu Çömlükçilik Firmasına, perlit temini için Genper Şirketler Grubuna teşekkür ederler.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Serhat ÇELİKİTEN, deney tasarımı, bulguların analizi; Bilal BARAN, Literatür araştırması, deneylerin gerçekleştirilmesi; Zahide BAYER ÖZTÜRK, Malzemelerin temini, bulguların yorumlanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Acar, M. C., Çelik, A. İ., Kayabaşı, R., Şener, A., Özdöner, N., ve Özkılıç, Y. O. (2023). Production of perlite-based-aerated geopolymer using hydrogen peroxide as eco-friendly material for energy-efficient buildings. *Journal of Materials Research and Technology*, 24, 81-99. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.02.179>

Amran, M., Debbarma, S., ve Ozbakkaloglu, T. (2021). Fly ash-based eco-friendly geopolymer concrete: A critical review of the long-term durability properties. *Construction and Building Materials* (C. 270). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121857>

Atabey, İ. İ., Karahan, O., Bilim, C., ve Atiş, C. D. (2020). The influence of activator type and quantity on the transport properties of class F fly ash geopolymer. *Construction and Building Materials*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120268>

Bakharev, T. (2005). Geopolymeric materials prepared using Class F fly ash and elevated temperature curing. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1224-1232. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.031>

Baran, P., Nazarko, M., Włosińska, E., Kanciruk, A., ve Zarębska, K. (2021). Synthesis of geopolymers derived from fly ash with an addition of perlite. *Journal of Cleaner Production*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126112>

Bayer Öztürk, Z., ve Çam, T. (2023). Performance of eco-friendly fly ash-based geopolymer mortars with

stone-cutting waste. *Materials Chemistry and Physics*, 307, 128112. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.128112>

Çelikten, S., ve Erdoğan, G. (2022). Effects of perlite/fly ash ratio and the curing conditions on the mechanical and microstructural properties of geopolymers subjected to elevated temperatures. *Ceramics International*, 48(19), 27870-27877. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.06.089>

Çelikten, S., ve Işıkdag, B. (2020). Strength Development of Ground Perlite-Based Geopolymer Mortars. *Advances in Concrete Construction*, 9(3), 227-234. <https://doi.org/10.12989/acc.2020.9.3.227>

Çelikten, S., Sarıdemir, M., ve Akçaözoglu, K. (2020). Effect of calcined perlite content on elevated temperature behaviour of alkali activated slag mortars. *Journal of Building Engineering*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101717>

Çelikten, S., Sarıdemir, M., ve Özgür Deneme, İ. (2019). Mechanical and microstructural properties of alkali-activated slag and slag + fly ash mortars exposed to high temperature. *Construction and Building Materials*, 217, 50-61. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.055>

Davidovits, J. (1989). Geopolymers and Geopolymeric New Material. *Journal of Thermal Analysis*, 35, 429-441.

Demirboğa, R., ve Gül, R. (2003). The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete. *Cement and Concrete Research*, 33(5), 723-727. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01032-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01032-3)

Dişçi, E., ve Polat, R. (2022). The influence of nano-CaO and nano-Al₂O₃ and curing conditions on perlite based geopolymer concrete produced by the one-part mixing method. *Construction and Building Materials*, 346. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128484>

Doğan, H. (2018). Erişim adresi: <http://www.turktarim.gov.tr/Haber/82/insanlik-tarihi-kadar-eski-bir-sanat-comlekçilik>

Durak, U., İlkentapar, S., Karahan, O., Uzal, B., ve Atiş, C. D. (2021). A new parameter influencing the reaction kinetics and properties of fly ash based geopolymers: A pre-rest period before heat curing. *Journal of Building Engineering*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102023>

- Duxson, P., Provis, J. L., Lukey, G. C., ve van Deventer, J. S. J. (2007). The role of inorganic polymer technology in the development of "green concrete". *Cement and Concrete Research*, 37(12), 1590-1597. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.08.018>
- El-Mir, A., Hwalla, J., El-Hassan, H., Assaad, J. J., El-Dieb, A., ve Shehab, E. (2023). Valorization of waste perlite powder in geopolymer composites. *Construction and Building Materials*, 368. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130491>
- Erdogan, S. T. (2015). Properties of Ground Perlite Geopolymer Mortars. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(7). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0001172](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001172)
- Hojati, M., ve Radlińska, A. (2017). Shrinkage and strength development of alkali-activated fly ash-slag binary cements. *Construction and Building Materials*, 150, 808-816. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.040>
- Hossain, M. M., Karim, M. R., Hossain, M. K., Islam, M. N., ve Zain, M. F. M. (2015). Durability of mortar and concrete containing alkali-activated binder with pozzolans: A review. *Çinde Construction and Building Materials* (C. 93, ss. 95-109). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.094>
- Işıkdağ, B. (2015). Characterization of lightweight ferrocement panels containing expanded perlite-based mortar. *Construction and Building Materials*, 81, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.009>
- Işıkhan, S. (2015). Tarihi Çanakkale seramiklerinin yeniden üretimine yönelik güncel-teknolojik denemeler. *Atatürk Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Dergisi*, 34, 133-169.
- Photisan, M. S., ve Sangphong, O. (2022). STRENGTH DEVELOPMENT OF FLY ASH-PERLITE BASED GEOPOLYMER MORTAR USING RECYCLED WASTE GLASS AS FINE AGGREGATE. *Naresuan University Journal: Science and Technology*, 31(1), 1-9.
- Provis, J. L. (2014). Geopolymers and other alkali activated materials: Why, how, and what? *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 47(1-2), 11-25. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0211-5>
- Provis, J. L., ve Bernal, S. A. (2014). Geopolymers and related alkali-activated materials. *Annual Review of Materials Research*, 44, 299-327. <https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070813-113515>
- Sarıdemir, M., ve Bulut, M. (2021). Effects of ground basaltic pumice and high temperatures on the properties of HSMs. *Journal of Building Engineering*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102772>
- Sarıdemir, M., ve Celikten, S. (2017). The strength properties of alkali-activated silica fume mortars. *Computers and Concrete*, 19(2), 153-159. <https://doi.org/10.12989/cac.2017.19.2.153>
- Singh, M., ve Garg, M. (1991). Perlite-based building materials — a review of current applications. *Construction and Building Materials*, 5(2), 75-81. [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(91\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0950-0618(91)90004-5)
- TS EN 196-1. (2016). TS EN 196-1, Turkish Standards European Norms, Methods of Testing Cement-Part 1: Determination of Strength, Turkish Standards Institution, Ankara, Turkey.
- TS EN 1015-11/A1. (2020). TS EN 1015-11/A1, Methods of Test for Mortar for Masonry- Part 11: Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortar, Turkish Standard Institute, Ankara, Turkey.
- Turhan, D., Karagöl, F., ve Polat, R. (2021). Investigation of the Properties of Perlite-Based Geopolymer Concrete with Red Mud. In *PACE-2021 International Congress on the Phenomenological Aspects of Civil Engineering*, 1-7.
- Uğurlu, A. İ., Karakoç, M. B., ve Özcan, A. (2021). Effect of binder content and recycled concrete aggregate on freeze-thaw and sulfate resistance of GGBFS based geopolymer concretes. *Construction and Building Materials*, 301. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124246>
- Ulugöl, H., Günal, M. F., Yaman, İ. Ö., Yıldırım, G., ve Şahmaran, M. (2021). Effects of self-healing on the microstructure, transport, and electrical properties of 100% construction- and demolition-waste-based geopolymer composites. *Cement and Concrete Composites*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104081>
- Zhang, H. Y., Qiu, G. H., Kodur, V., ve Yuan, Z. S. (2020). Spalling behavior of metakaolin-fly ash based geopolymer concrete under elevated temperature exposure. *Cement and Concrete Composites*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103483>

UÇAKLARDAN KAYNAKLANAN KARBON EMİSYONUNUN ESKİŞEHİR HASAN POLATKAN HAVALİMANI İÇİN BELİRLENMESİ

Çisil TİMURALP^{1*}, Furkan Rıza MERCAN²

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-2894-3575>

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, ORCID No: <http://orcid.org/0009-0004-6152-5895>

Anahtar Kelimeler	Öz
Karbon Ayak İzi; Sera gazı; IPCC; Tier; Havacılık	<i>Bu çalışmada, havacılık sektöründe karbon ayak izinin belirlenmesi ve azaltılması ile ilgili örnek bir uygulama yapılmıştır. Uygulamada, Eskişehir ilinde faaliyette olan Hasan Polatkan Havalimanı'nın 2023 yılındaki uçuşları baz alınarak karbon ayak izi hesaplanması amacıyla bir süreç gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, emisyon hesaplamalarında Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından tavsiye edilen Tier yaklaşım metodu kullanılmıştır. Ulaştırmadan kaynaklanan CO₂ emisyon miktarı 2023 yılı Hasan Polatkan Havalimanı'nda 6.893,160 kg olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak; havayolu taşıma sektöründe kullanılan uçakların üreticileri ile düzenleyici kurumlar arasında sürdürülebilirlik konusunda bir standardizasyonun acilen sağlanmasının gerekli olduğu tespit edilmiştir.</i>

DETERMINATION OF CARBON EMISSIONS FROM AIRPLANES FOR ESKİŞEHİR HASAN POLATKAN AIRPORT

Keywords	Abstract
Carbon footprint; Greenhouse gas; IPCC; Tier; Aviation	<i>The purpose of this study is explained with a case study on the determination and reduction of carbon footprint in the aviation sector. In this study, the carbon footprint of Hasan Polatkan Airport in Eskişehir province was calculated based on the flights in 2023. In emission calculations, calculations were made with the Tier approach method recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Since there is a significant amount of CO₂ gas among the greenhouse gases caused by transportation, the amount of CO₂ emission was determined as 6,893.160 kg for Hasan Polatkan Airport in 2023. Calculations show that CO₂ emissions increase as fuel consumption increases.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 19.02.2024

: 29.04.2024

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 19.02.2024

: 29.04.2024

* Sorumlu yazar: cisil@ogu.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1436058>

1. Giriş

Havacılık sektörü, hızlı küresel hareketlilik ve ticaretin itici güçlerinden biri olarak önemli bir role sahiptir. Ancak, bu sektörün büyüklüğü ve etkisi, çevresel sorumluluğu da beraberinde getirmektedir. Son yıllarda, havacılık sektöründe karbon ayak izinin hesaplanması konusu, çevresel sürdürülebilirlik çabalarının merkezine yerleşmiştir. Uçaklarda yaygın olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır, bunun ana nedeni mevcut altyapının ve teknolojinin fosil yakıtlara dayalı olmasındandır. Fosil yakıtlar, yüksek enerji yoğunluğu ve mevcut altyapıya uyumluluğu nedeniyle hava taşımacılığında tercih edilir. Ancak çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik endişeleri nedeniyle alternatif yakıt arayışları da devam etmektedir. Bunun sebebi havacılık sektöründe kullanılan fosil yakıtların atmosfere büyük

miktarda karbon salımı gerçekleştirilmesiyle ilgilidir. Bu salımların iklim değişikliği üzerindeki olumsuz etkileri, sektördeki paydaşları çevresel sorumluluk almaya yönlendirmiştir. Karbon ayak izinin hesaplanması, bu sorumluluğun bilimsel ve ölçülebilir bir temele dayandırılmasını sağlar. Havacılık sektöründe karbon ayak izi hesaplaması, karmaşık bir süreçtir ve bir dizi önemli unsur içerir. Uçuş mesafesi, kullanılan yakıt türü, uçak tipi, kalkış ve iniş prosedürleri gibi faktörler, karbon ayak izinin belirlenmesinde etkili olan temel unsurlardır. Bu unsurların detaylı bir şekilde analizi, sektördeki şirketlere çevresel etkilerini değerlendirme ve azaltma konusunda kılavuzluk eder. Karbon ayak izinin hesaplanması, sadece bir değerlendirme aracı değil, aynı zamanda azaltma stratejilerinin belirlenmesinde de kritik bir rol oynar. Havayolu



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/>).

şirketleri, daha enerji verimli uçaklar kullanma, alternatif yakıtlara geçiş, uçuş rotalarını optimize etme gibi çeşitli stratejilerle karbon salımlarını azaltabilirler. Bu stratejiler, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli adımları temsil eder (Yılmaz ve Atmanlı, 2016).

Uçakların atmosfere saldıgı en bilinen kirletici gaz karbondioksittir. Diğer emisyonlar azot oksit, karbon monoksit, kükürt oksitler ve diğer gazları ve parçacıkları içerir. Bu zararlı emisyonlar atmosferi ve üst troposferi etkiler. Emisyonların çevresel etkilerinin yanı sıra sağlık açısından da olumsuz etkileri vardır. Bu nedenlerden dolayı emisyonların anlaşılması son yıllarda önem kazanmıştır (Çağatan, 2011). Uçak motorlarından kaynaklanan iki önemli emisyon sorunu vardır. Birinci neden, yer manevraları sırasında düşük verimle yüksek yanma verimi sağlamak amacıyla, büyük miktarda yakıtın yakılmasının, azaltılması gereken büyük miktarda yanmamış hidrokarbon üretmesidir. İkincisi ise uçakların kalkışı, tırmanışı ve seyir sırasında üretilen nitrojen oksitlerdir (Kumaş, Onur, Akyüz ve Güngör, 2019). Bu sorunları çözmek için, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından iniş/kalkış döngülerini (LTO) kullanan yüksek irtifa seyir standartları geliştirilmiştir. Amaç, havalimanlarındaki hava kirliliğini ve atmosferik ozon tabakasındaki değişiklikleri belirlenmiş standartları kullanarak kontrol etmektir. Dünya çapında tüketilen yakıtın yüzde 5-6'sı yolcu taşıyan uçaklar tarafından üretilmektedir. Kişi başı yakıt tüketimi yeni uçaklarda 100 km'de yaklaşık 3,5 litre, eski uçaklarda ise yaklaşık 12 litredir. Uçak motoru emisyonları tipik olarak %70 CO_2 , %29 H_2O ve %1 diğer zararlı emisyonlardan oluşur. Bu zararlı gazlar, uçak motorunun tipine, kullanılan yakıtı, uçulan mesafeye ve irtifaya göre değişiklik göstermektedir (Ünal, Türkoğlu ve Doğan, 2014).

1.1. Literatür Taraması

Kumaş ve diğ. (2019) çalışmalarında Muğla Dalaman Havalimanı'na inen uçakların karbon ayak izinin hesaplamalarını Tier yaklaşım metodunu kullanarak yapmışlardır. Bajgai ve Shrestha (2023), Tribhuvan uluslararası havalimanındaki uçak emisyonlarını değerlendirmiş ve Nepal'daki havanın kalitesine etkisini incelemiştir. Çalışmada Tribhuvan havalimanındaki iniş ve kalkış döngüsü emisyonlarının genel bir tahmini yapılmıştır. Araştırma, havalimanındaki uçaklardan kaynaklanan LTO emisyonlarının yılda 898 ile 2123 ton arası değiştiğini göstermektedir. Lukačević, Mirković, Đogatović ve Ganić (2022) Podgorica Havalimanı'ndaki uçak emisyonlarının tahminine yönelik simülasyon modeli yapmıştır. Podgorica Havalimanı'nda 2019 yılının en yoğun günü için uçakların emisyon miktarları hesaplanmış ve tartışılmıştır. Tokuslu (2020), çalışmasında Gürcistan'daki Tiflis Uluslararası Havalimanı'nda 2018 yılı için iniş ve kalkış döngüleri sırasında uçaklardan kaynaklanan azot oksitler, karbon monoksit ve hidrokarbonlar dahil olmak üzere hava

kirleticilerinin tahminine odaklanmıştır. Tahmin modeli, uçak tipi ve sayısı, motor tipi, yolcu sayısı dahil olmak üzere Gürcistan'daki TAV Havalimanları Holding Şirketleri tarafından kaydedilen uçuş verilerine dayanmaktadır ve emisyonların hesaplanması için Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü Motor Egzoz Emisyon Veri Bankasından alınan emisyon faktörleri kullanılmıştır. LTO döngüsü boyunca Tiflis uluslararası havalimanındaki toplam uçak emisyonları 428,78 t/y (NO_x için 247,33 t/y, CO için 161,21 t/y ve HC için 20,24 t/y) olarak tahmin edilmiştir. Aygun ve Caliskan (2021) çalışmalarında, ticari uçaklarda yaygın olarak kullanılan iki farklı turbofan motor ailesinin kalkış, tırmanış, yaklaşma ve rölanti aşamalarını içeren iniş ve kalkış çevrimine ilişkin çevresel ve çevresel-ekonomik analizler gerçekleştirilmiştir. Champeechoarensuk, Dhakal, Chollacoop ve Phdungsilp (2024), Tayland'daki yurt içi havacılıktan kaynaklanan emisyonlar için Tier 1 ve Tier 2 metodlarıyla çalışmalar yapmıştır. Cao, Tang, Gao, You ve Zhang (2023), Çin'deki Xining Uluslararası Havalimanı'ndan alınan gerçek operasyonel verilere dayanarak, beş taksi yöntemi için yakıt tüketimi ve emisyon karşılaştırmaları yapmışlardır. Sonuçlar, yeni taksi yöntemlerinin geleneksel taksi yöntemine, yani tam motorlu taksi yöntemine kıyasla hem yakıt tüketimini hem de emisyonlarını azaltabileceğini göstermektedir. Ayrıca yeni taksi yöntemlerinin emisyon azaltma etkisi uçak tipine göre değişmektedir. Yeni taksi yöntemleri kullanılarak 2024-2035 yılları arasında karbon emisyonları öngörülerek her bir taksi yönteminin karbon ayak izi potansiyeli araştırılmıştır. Ekici, Ayar ve Karakoç (2023) bu çalışmada, günümüzde ticari havacılıkta yaygın olarak kullanılan ilk kompozit yapıları dar gövdeli yağın en yaygın motor kombinasyonları ile donatılmasının neden olduğu tehlikeli emisyon miktarlarındaki farklılıkları incelemiştir. Yaygın olarak bu yolcu uçaklarında kullanılan çeşitli motor tipleri tarafından üretilen emisyon miktarlarındaki değişimi açıkça bu çalışmada sunmuşlardır. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'nün standart emisyon modeline dayanan çalışmada ise Pekin-Tianjin-Hebei havaalanı grubundaki dokuz havaalanının gerçek uçuş koşullarını toplamış, Pekin-Tianjin-Hebei havaalanı grubu uçakları için 2018-2019 sezonu iniş ve kalkış döngüsü hava kirletici emisyon listesini doğru bir şekilde tahmin etmek için ABD Çevre Koruma Ajansı yöntemini kullanarak araştırmalar yapılmıştır. Uçaklar LTO döngüsünde daha fazla NO_x ve CO yayarken, PM en az emisyon miktarını oluşturmaktadır. Havalimanı grubundaki tüm uçaklar arasında, B777 uçağı en fazla karbon ayak izine sahipken, B737'ninki en azdır (Han, Kong, Yao ve Wang, 2020).

Bu çalışmada, karbon ayak izi, 2023 yılındaki Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı'nda yapılan uçuş sayısı ve uçak tipine bağlı verilerden hesaplanmıştır. Emisyonları hesaplamak için IPCC tarafından tavsiye edilen Tier

yaklaşım yöntemi kullanılmıştır. Taşımacılıkla ilişkili sera gazları arasında büyük miktarda CO_2 gazının da bulunması nedeniyle CO_2 emisyonları hesaplanmıştır. Hesaplamalar yakıt tüketimi arttıkça CO_2 emisyonlarının da arttığını göstermiştir.

2. Yöntem

Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı diğer büyük illerdeki hava limanlarına göre nispeten daha az hava trafiğine sahiptir. Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanında 2015-2022 yılları arasında gerçekleşen yıllık uçuş sayıları Tablo 1'de verilmektedir. Tablo 1 incelendiğinde diğer büyük illerdeki hava trafiğine göre nispeten daha az olan uçuş sayıları yıllar itibari ile sürekli artış eğiliminde olsa da 2019 ve 2020 yıllarında pandemi nedeniyle uçuş sayılarında düşme olmuştur. 2023 yılında uçuş sayılarının artmasının başlıca nedeni, COVID-19 salgınına yanıt olarak alınan kısıtlamaların gevşetilmesi ve seyahat talebinin yeniden canlanmasıdır. Havayolu endüstrisi, aşılama kampanyaları ve sağlık önlemlerinin etkisiyle toparlanmış ve güveni yeniden kazanmıştır. Bu durum, insanların seyahat etme isteğini artırmış ve sonuç olarak uçuş sayılarında belirgin bir artışa yol açmıştır. Artan uçuş sayılarıyla doğru orantılı olarak sera etkisine yol açan emisyonların da arttığını söyleyebiliriz (Şahin ve Süzen, 2023).

Tablo 1. Hasan Polatkan Havalimanı Uçuş Sayıları (Eskişehir Teknik Üniversitesi, 2023)

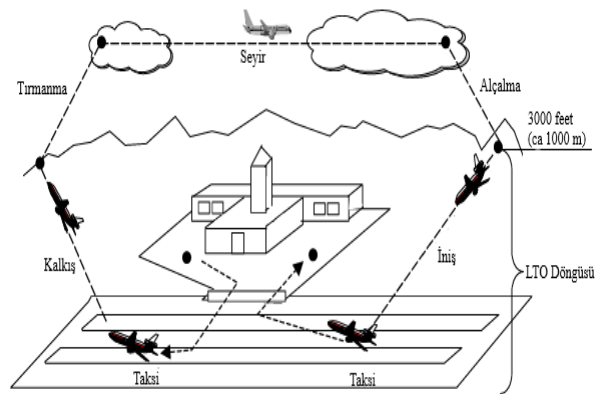
Yıllar	İç Hat Uçuş Sayısı	Dış Hat Uçuş Sayısı	Toplam
2015	320	509	829
2016	335	473	808
2017	395	671	1066
2018	334	744	1078
2019	289	663	952
2020	290	456	746
2021	227	837	1064
2022	209	901	1110

Çalışmada Tier metoduna göre yapılan karbon ayak izi hesaplamalarında, 2023 yılı kapsamında Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanına yapılan uçuş sayısı ve uçak tipine bağlı veriler kullanılmıştır. Hesaplamalara ticari uçuşların yanı sıra eğitim uçuşları da dâhil edilmiştir.

Tablo 2. 2023 Yılı Hasan Polatkan Havalimanı Aylık Uçuş Sayıları (Eskişehir Teknik Üniversitesi, 2023)

AYLAR	UÇUŞ SAYISI
OCAK	348
ŞUBAT	264
MART	487
NİSAN	390
MAYIS	324
HAZİRAN	418
TEMMUZ	925
AĞUSTOS	594
EYLÜL	706
EKİM	750
KASIM	225
ARALIK	294
TOPLAM	5725

2023 yılında Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanına toplam 5725 adet uçuş gerçekleşmiştir ve bu uçuşların aylara göre dağılımı Tablo 2'de verilmiştir. 2022 yılı ile karşılaştırıldığında toplam uçuş sayılarında 5,16 kat artış olduğu ve uçuşların büyük bir kısmının yaz aylarında olduğu görülmektedir. Diğer büyükşehirlerdeki hava trafiğine oranla nispeten daha düşük uçuş sayısı olmasına rağmen son bir yıldaki artış oranı emisyonlardan kaynaklı küresel ısınma açısından önem arz eden bir konudur. Şöyle ki; hava yolu taşımacılığında kullanılan uçaklar kalkış sırasında büyük miktarda yakıt tüketir dolayısıyla tüketilen yakıtla doğru orantılı olarak da emisyonlar artar. Ayrıca uçak operasyonları iki bölümden oluşmaktadır: LTO ve seyir faaliyetleri. LTO döngüsü 1000 metrenin altındaki tüm faaliyetleri içerir. Buna kalkış, tırmanma, yaklaşma ve taksi aşamaları dahildir. Seyir ise 1000 m üstünde olan ve yükseklik üst sınırı verilmemiş bütün faaliyetleri ve tırmanma safhasının sonundan iniş safhasına kadar olan faaliyetleri kapsamaktadır. Örnek bir LTO döngüsü Şekil 1'de verilmiştir (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997).



Şekil 1. LTO Döngüsü (IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997)

2023 yılı içinde 51 farklı uçak çeşidi havalimanını kullanmıştır. Tablo 3'te Hasan Polatkan Havalimanı 2023 yılına ait ay bazında toplam gelen/giden uçak sayıları ve modelleri verilmiştir. Bu kadar geniş uçak

model verisinin olmasının sebebi eğitim uçuşlarının da Hasan Polatkan pistinde yapılıyor olmasıdır.

Tablo 3. Hasan Polatkan Havalimanı Gelen/Giden Uçak Sayıları ve Modelleri

AYLAR	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
A139	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0
A21N	10	4	6	0	0	3	23	22	10	0	6	10
A320	0	2	2	2	14	2	0	0	2	0	4	6
A321	18	18	6	6	5	11	10	0	2	0	0	0
ASTR	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
AT8T	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
01M8	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
B234	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0
B350	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B38M	0	0	0	0	0	2	10	8	8	2	0	0
B429	0	0	0	4	0	0	6	14	4	0	0	0
B737	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	2	8
B738	22	16	22	22	26	34	56	62	50	24	24	22
B739	4	0	2	0	2	0	0	0	2	6	10	12
BE20	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
BE9L	1	88	4	52	13	0	6	0	0	0	3	38
BER2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
C172	150	50	204	154	124	194	356	260	456	418	116	24
C25A	2	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
C550	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
C560	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C56X	2	0	0	0	4	2	0	0	2	2	0	2
C650	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
C680	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
C681	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
CL30	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
CL60	9	16	11	6	0	4	18	12	22	14	16	10
CRJ2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
EC35	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0
E35L	0	2	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0
F2TH	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
FA8X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
GLEX	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
GLF4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
GYRO	0	0	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0
H25B	0	0	0	0	0	2	0	4	0	2	0	0
H60	0	0	0	4	0	0	0	10	2	0	0	0
H60I	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0
J328	0	0	0	0	0	0	0	2	0	B	0	0
K32	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
KA32	0	0	0	0	0	2	10	2	0	0	0	0
LJ45	0	2	0	0	0	2	4	4	2	0	0	2
LJ60	0	0	0	0	6	0	2	0	0	0	0	0
MI08	0	0	0	0	0	0	8	38	2	4	0	0
MI2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
MI26	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0
MI8	0	0	0	0	0	4	86	96	6	0	0	0
PRM1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S92	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
TB20	126	62	226	124	114	152	310	22	124	276	44	160
UH60	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0

Emisyonların hesaplanmasında IPCC tarafından tanımlanan Tier 1 ve Tier 2 yöntemleriyle hesaplama yapılmıştır. Tier 1 yöntemi LTO ve seyir aktivitelerinde harcanan yakıtın emisyon faktörü ile çarpımıyla hesaplanır. Tier 1 yönteminde yakıt tüketimi esas alınmakta ve emisyon miktarı tüketilen yakıt miktarı ve tipine bağlı emisyon faktörü kullanılarak bulunur (Akdeniz, 2021). Bu hesaplamada genel veriler kullanılarak emisyonlar bulunduğu için daha spesifik uçuş parametreleri veya uçak tipi gibi detaylı bilgiler dikkate alınmaz. Tier 2 yönteminde ise uçağın yaptığı işlemler dikkate alınır.

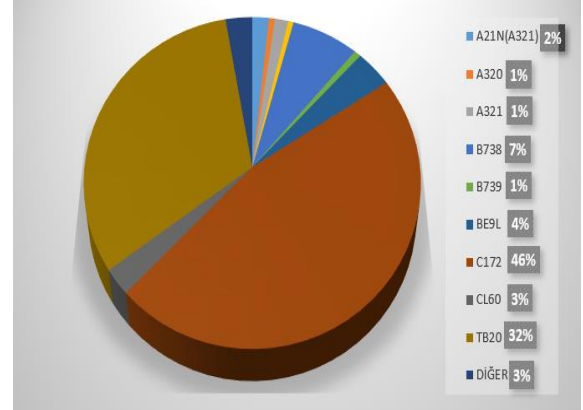
Tier 2 yöntemi fazla veri gerektirmesine rağmen daha detaylı ve kapsamlı bir analiz ile daha hassas sonuçlar sağlar. Tier 2 yöntemi, jet yakıtı kullanan uçaklardan kaynaklanan emisyonları belirlemek için kullanılır. Havacılık sektöründe jet yakıtı kullanımı yaygındır ve hesaplamalar jet yakıtı kullanan uçaklar baz alınarak yapılmıştır. Tier 2 yaklaşımını uygulamak için LTO sayısı ve uçak tipi bilgisi gereklidir. Bu metotta LTO emisyonu; LTO sayısı ile LTO Emisyon faktörünün çarpımıyla bulunur (Babaoğlu ve Özgünoğlu, 2017).

Hasan Polatkan havalimanında uçaklardan kaynaklanan emisyonun belirlenmesinde 2023 yılı uçak çeşitleri ve uçak bazında LTO sayıları için Eskişehir Teknik Üniversitesi ve Hasan Polatkan Havalimanı'na ait verilerden faydalanılmıştır (Eskişehir Teknik Üniversitesi, 2023). IPCC tarafından belirlenmiş emisyon faktörleri ve yakıt tüketimleri Tier 2 metodu ile emisyon değerleri aylık bazda hesaplanarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3. Bulgular

Eskişehir Teknik Üniversitesi verilerine göre Hasan Polatkan Havalimanının 2023 yılında LTO yapan uçak sayısı değerlerinin yüzdesel dağılımı Şekil 2'de ve buna ait tüm veriler Tablo 4'te verilmiştir. Bu verilere göre 2023 yılı için LTO sayısı uçak modelleri bakımından değerlendirildiğinde C172 (Cessna 172) tipi uçak 2506 LTO sayısı ile %46'lık bir oranla Hasan Polatkan Havalimanı'na en çok iniş kalkış yapan uçaktır. Bunu sırasıyla tüm uçuşların %32'sini oluşturan TB20 (SOCATA TB Family) ve %7 ile B738 (BOEING) takip etmektedir.



Şekil 2. Hasan Polatkan Havalimanının LTO Sayılarına Göre Uçak Modellerinin Dağılımı

Tüm uçuşlar içinde havalimanında en çok kullanılan C172 uçağı dünyada en çok üretilen, tek motorlu, 4 kişilik, çoğunlukla eğitim amaçlı kullanılsa da askeri, ticari ve bireysel olarak da kullanılan bir uçak çeşididir (Flyive aviation platform, 2024), Bunu takiben TB20 uçağı gelmektedir. Bu uçak da eğitim ve seyahat uçuşlarında kullanılmaktadır. Bu verilerden anlaşıldığı üzere bu havalimanında en çok eğitim uçuşlarının olduğu gözlemlenmektedir. Bunu takiben Boeing ve Airbus yolcu uçak modelleriyle birlikte CL60 iş jeti uçaklarının da bu havalimanından sıkça uçtuğu gözlemlenmektedir.

Tablo 4. 2023 Yılı Hasan Polatkan Havalimanı Gelen/Giden Uçak Sayıları ve Modelleri

Uçak Marka ve Modeli	Uçuş Sayısı	Uçak Marka ve Modeli	Uçuş Sayısı
A21N(A321)	94	C56X	14
A320	34	C650	6
A321	76	C680	1
ASTR(G100)	2	C681	1
AT8T	4	CL30	2
01M8	4	CL60	138
B234	8	CRJ2	3
B350	2	E35L	7
B38M(737)	30	F2TH	2
B737	16	FA8X	2
B738	380	GLEX	2
B739(Boeing 737-900)	39	GLF4	2
BE20	2	H25B	8
BE9L	205	J328	2
C172	2506	LJ45	16
C25A	6	LJ60	8
C550	4	PRM1	2
C560	2	TB20	1740

Tablo 5. Hasan Polatkan Havaalanı Gelen/Giden Uçak Tiplerine Ait Emisyon Miktarları

Uçak Marka ve Modeli	Miktarı (Adet)	CO ₂ Emisyon (kg)	Toplam CO ₂ Emisyon Miktarı (kg)
A21N(A321)	94	3.020	283.880
A320	34	2.440	82.960
A321	76	3.020	229.520
ASTR(G100)	2	2.160	4.320
AT8T	4	620	2.480
01M8	4	1.890	7.560
B234	8	230	1.840
B350	2	230	460
B38M(737)	30	2.780	83.400
B737	16	2.780	44.480
B738	380	2.780	1.056,400
B739(Boeing 737-900)	39	2.780	108.420
BE20	2	230	460
BE9L	204	230	46.920
C172	2.506	1.060	2.656,360
C25A	6	1.060	6.360
C550	4	1.060	4.240
C560	2	1.060	2.120
C56X	14	1.060	14.840
C650	6	1.060	6.360
C680	1	1.060	1.060
C681	1	1.060	1.060
CL30	2	2.160	4.320
CL60	138	2.160	298.080
CRJ2	3	1.060	3.180
E35L	7	1.060	7.420
F2TH	2	2.160	4.320
FA8X	2	2.160	4.320
GLEX	2	2.160	4.320
GLF4	2	2.160	4.320
H25B	8	2.160	17.280
J328	2	870	1.740
LJ45	16	2.160	34.560
LJ60	8	2.160	17.280
PRM1	2	1.060	2.120
TB20	1.740	1.060	1.844,400
TOPLAM			6.893,160

Bu çalışmada 2023 yılı Hasan Polatkan havalimanında uçak tiplerinin LTO ve seyir sırasında oluşan CO₂

emisyonu, IPCC tarafından belirlenen Tier 2 metoduna göre bulunmuş ve her bir uçağın aylık emisyon değeri hesaplanmıştır. Hesaplamalar için gerekli olan emisyon faktörleri ile yakıt tüketimi değerleri için IPCC 2006 Direktifinde yer alan tablo verileri kullanılmış ve çıkan sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5'te görüldüğü gibi yıllık toplam CO₂ emisyon miktarı en fazla olan ilk 3 uçak modeli uçuş sayılarına bağlı olarak sırasıyla C172, TB20 B738'dir. Uçuş sayıları aynı olmasına rağmen salınan CO₂ emisyonunun bazı uçaklarda farklı olduğu görülmektedir. Emisyonların hesaplanmasında sadece uçuş sayılarının etkili olmadığı bunun yanında uçak motor gücü, hızı, ağırlığı gibi parametrelere bağlı uçak tiplerinin de etkili olduğu sonucunu çıkarabiliriz.

Tablo 6. Hasan Polatkan Havalimanına En Çok Uçuş Yapan 5 Uçak İçin CO₂ Emisyon Miktarları

Aylar	CL60 (t)	B738 (t)	BE9L (t)	C172 (t)	TB20 (t)	Toplam CO ₂ Emisyon Miktarı (t)
Ocak	19.4	61.2	0.2	159	133.6	373.4
Şubat	34.6	44.5	20.2	53	65.7	218
Mart	23.8	61.2	0.9	2	239.6	541.7
Nisan	13	61.2	12	2	131.4	380.8
Mayıs	0	72.3	3	4	120.8	327.5
Haziran	8.6	94.5	0	6	161.1	469.8
Temmuz	38.9	155.7	1.4	4	328.6	902
Ağustos	25.9	172.4	0	6	23.3	497.2
Eylül	47.5	139	0	4	131.4	801.3
Ekim	30.2	66.7	0	1	292.6	832.6
Kasım	34.6	66.7	0.7	123	46.6	271.6
Aralık	21.6	61.2	8.7	25.4	169.6	286.5
Toplam (t)						5902.4

2023 yılında Hasan Polatkan Havalimanında uçuş sayısı 100'ün üzerinde olan 5 uçak modeli bulunmaktadır ve bunlara ait aylık CO₂ emisyon dağılımı Tablo 6'da verilmiştir. Her bir ay için farklı uçak modellerinin CO₂ emisyon miktarlarına bakıldığında tüm aylarda uçuş sayısı da en fazla olan C172 modelinden salınan emisyon %38,5'lik bir oranla neredeyse emisyonların büyük bir çoğunluğunu oluşturacak şekilde ilk sırada yer alırken,

emisyollarının %26,7'si TB20 modelinden kaynaklanmakta, B738 modeli ise üçüncü sırada yer almaktadır. Tablo 4'e bakıldığında CL60 modelindeki uçuş sayısının BE9L modelinin yaptığı uçuş sayısından daha az olduğu görülmektedir. Fakat daha önce belirtildiği gibi uçak gücünün farklı olması nedeniyle salınan CO₂ emisyonu CL60'da daha fazla çıkmıştır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Hasan Polatkan Havalimanına ait uçak modellerinin 2023 yılı uçuş verilerine göre her bir ay için karbon ayak izi tespit edilmiştir. Uçak modelleri incelendiğinde C172 uçak tipinin diğer uçak tiplerine göre emisyon miktarı olarak atmosfere en çok emisyon veren uçak tipi olduğu hesaplamalarda tespit edilmiştir. Emisyon miktarlarına göre C172 eğitim uçağını TB20 eğitim uçağı ve Boeing 738 yolcu uçak tipi uçaklar takip etmektedir.

2023 yılına ait uçuşlarda 6.893,160 CO₂/yıl emisyon meydana gelmiştir. Bunun 5.902,390 CO₂/yıl kısmı en çok uçuş yapan ve Tablo 6'da verilen 5 uçak modelinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca emisyon yoğunluğunun uçuş sayılarının arttığı yaz ve sonbahar aylarında daha fazla olduğu görülmektedir.

Havacılık sektöründe karbon ayak izinin hesaplanması, çevresel sorumluluğun bilimsel temellere dayandırılmasını ve etkili bir şekilde yönetilmesini sağlar. Bu hesaplama süreci, sektördeki şirketlere çevresel etkilerini anlama, azaltma stratejileri belirleme ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma konusunda rehberlik eder. Havacılık sektörü, karbon ayak izini azaltma konusundaki çabalarını artırarak, gelecek nesillere daha temiz bir çevre bırakma taahhüdünü sürdürmelidir.

Havacılık sektöründe karbon ayak izinin azaltılması, çevresel sorumlulukların ve sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesiyle mümkün olabilir. Birinci adım, havayolu şirketlerinin filolarındaki uçakların teknolojik altyapısını gözden geçirmek ve daha çevreci seçeneklere yönelmek olabilir. Yenilikçi motor teknolojileri, yakıt verimliliği sağlayarak karbon emisyonlarını azaltabilir. Ayrıca, biyoyakıtların kullanımı, geleneksel jet yakıtlarının yerine daha sürdürülebilir ve düşük karbonlu alternatiflerle değiştirilmesini sağlayabilir. Bu sayede, havacılık sektöründeki karbon ayak izi önemli ölçüde düşürülebilir.

Havacılık endüstrisinde enerji verimliliğini artırmak da karbon ayak izinin azaltılmasında kritik bir rol oynayabilir. Uçuş sırasında daha iyi rotalama, uçakların optimum seyir hızlarını kullanması ve hava trafik yönetimindeki gelişmeler, enerji tüketimini azaltabilir ve bu da karbon emisyonlarını düşürmeye yardımcı olabilir. Ayrıca, uçak bakımı ve temizlik süreçlerinde

daha çevre dostu pratiklere geçiş de enerji tasarrufu sağlayabilir.

Havacılık sektöründeki karbon ayak izini azaltmada bir başka önemli faktör de uçakların daha uzun süre hizmette kalmasını sağlamaktır. Uçakların ömrünü uzatmak, üretim ve hurda süreçlerinin getirdiği çevresel etkileri azaltabilir. Bu durum, uçak üreticilerini daha dayanıklı ve uzun ömürlü tasarımlar geliştirmeye teşvik edebilir. Yenilikçi kompozit malzemelerin kullanımı, uçakların hafifletilmesine ve dolayısıyla daha az yakıt tüketmesine olanak tanıyabilir. Bu hem maliyet tasarrufu sağlar hem de çevresel etkileri azaltır.

Bu çerçevede, havacılık sektöründe karbon ayak izinin azaltılması için alınacak önlemler, endüstri genelinde bir dönüşümü başlatabilir. Daha çevreci teknolojilerin benimsenmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve sektör genelinde iş birliği, havacılık sektörünün sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasını sağlayabilir. Bu çabalar hem ekonomik hem de çevresel açıdan olumlu etkiler yaratarak, havacılık sektörünü daha yeşil ve sürdürülebilir bir geleceğe taşıyabilir.

Sonuç olarak, havacılık sektöründe karbon ayak izinin azaltılması, çeşitli önlemlerin bir araya gelmesini gerektiren kapsamlı bir süreçtir. Teknolojik yenilikler, enerji verimliliği artışı, malzeme seçiminde sürdürülebilirlik ve sektör genelinde iş birliği, havacılık sektörünün karbon ayak izini önemli ölçüde azaltabilir. Bu çabalar hem sektördeki paydaşların hem de dünya genelindeki toplumun çevresel sorumluluklarını yerine getirmesine katkı sağlayarak, daha sürdürülebilir bir havacılık geleceği için temel oluşturabilir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan verilerin sağlanmasında destek ve katkılarından dolayı Eskişehir Teknik Üniversitesi ve Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı Yönetimi'ne teşekkür ederiz.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Çisil TİMURALP konunun tespit edilmesi, literatür araştırması, analiz ve yorumların yapılması; Furkan Rıza MERCAN, literatür araştırması, verilerin elde edilmesi analiz ve yorumlama yapılması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Akdeniz, H. Y. (2021). Determining of Aircraft Engine Greenhouse Gas (CO₂, CH₄ and N₂O) Emissions from the Landing and Take-Off Operations Around the Airport Area. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 1140-1151. doi: <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.930376>
- Aygun, H., & Caliskan, H. (2021). Environmental and enviroeconomic analyses of two different turbofan engine families considering landing and take-off (LTO) cycle and global warming potential (GWP) approach. *Energy Conversion and Management*, 248, 114797. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114797>
- Babaoğlu, N., & Özgünoğlu, K. (2017). Kahramanmaraş havalimanı için uçaklardan kaynaklanan emisyonların belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 24-30. doi: <https://doi.org/10.17780/ksujes.335226>
- Bajgai, D. P., & Shrestha, K. L. (2023). Evaluation of aircraft emission at Tribhuvan international airport and its contribution to air quality in Kathmandu Nepal. *Atmospheric Environment: X*, 17, 100204. doi: [10.1016/j.aeaoo.2023.100204](https://doi.org/10.1016/j.aeaoo.2023.100204)
- Cao, F., Tang, T. Q., Gao, Y., You, F., & Zhang, J. (2023). Calculation and analysis of new taxiing methods on aircraft fuel consumption and pollutant emissions. *Energy*, 277, 127618. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127618>
- Champeechoarensuk, A., Dhakal, S., Chollacoop, N., & Phdungsilp, A. (2024). Greenhouse gas emissions trends and drivers insights from the domestic aviation in Thailand. *Heliyon*, 10(2). doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24206>
- Çağatan, K. (2011). *İstanbul Atatürk Havalimanı İçin Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi ve Çevresel Etkileri* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ekici, S., Ayar, M., & Karakoc, T. H. (2023). Fuel-saving and emission accounting: An airliner case study for green engine selection. *Energy*, 282, 128922. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128922>
- Eskişehir Teknik Üniversitesi. (2023). Erişim adresi: <https://hph.eskisehir.edu.tr/tr/Icerik/Detay/istatistikler>
- Flyive aviation platform web site (2024), Erişim adresi: <https://flyive.com/ansiklopedi/sivilucaklar/cessna-172>
- Han, B., Kong, W. K., Yao, T. W., & Wang, Y. (2020). Air pollutant emission inventory from LTO cycles of aircraft in the Beijing-Tianjin-Hebei Airport Group, China. *Huan Jing Ke Xue*, 41(3), 1143-1150. doi: <https://doi.org/10.13227/j.hj.kx.201908199>
- IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997. Revised 1996 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume II: Workbook*, Chapter, UK Meteorological Office, Bracknell.
- Kumaş, K., Onur, İ., Akyüz, A. Ö., & Güngör, A. (2019). Muğla Dalaman Havalimanı Uçaklardan Kaynaklanan Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 7(2), 291-297. doi: <https://doi.org/10.21541/apjes.466338>
- Lukačević, N., Mirković, B., Đogatović, M., & Ganić, E. (2022). Simulation model for estimation of aircraft emissions at Airport Podgorica. *Transportation Research Procedia*, 65, 180-189. doi: [10.38008/jats.v12i2.176](https://doi.org/10.38008/jats.v12i2.176)
- Şahin, Z., & Süzen, E. (2023). COVID-19 DÖNEMİNDE HAVACILIKTA STRATEJİK YÖNETİM VE UÇUŞ VERİLERİNİN İNCELENMESİ. *Akademik Hassasiyetler*, 10(22), 260-282.
- Tokuslu, A. (2020). Estimation of aircraft emissions at Georgian international airport. *Energy*, 206, 118219. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118219>
- Ünal, İ., Türkoğlu, F., & Doğan, B. (2014). Nevşehir kapadokya havalimanının emisyon ve gürültü açısından değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 55(654), 24-29.
- Yılmaz, N., & Atmanlı, A. (2016). Havacılıkta alternatif yakıt kullanılmasının incelenmesi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 3-10.

ATIK CAM KATKILI ASFALT KARIŞIMLARIN POTANSİYEL ÇEVRESEL ETKİLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ İLE ANALİZİ

Burak Yiğit KATANALP ^{1*}

¹ Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-7172-8192>

Anahtar Kelimeler	Öz
Asfalt YDD Atık Cam Enerji	<i>Atık camların düzenli depolanma yöntemi ile bertarafı yaygın kullanılmakta ancak çevresel etkilerinden kaynaklı sıklıkla eleştirilmektedir. Bu çalışmada, düzenli depolamaya bir alternatif olarak %25 ile %100 arasında değişen oranlarda atık camın asfalt karışımında kırmataş agrega yerine ikamesinin oluşturacağı çevresel etkilere odaklanılmıştır. Araştırmada karışımların yakıt tüketimi, sera gazı emisyonları ile bu emisyonlara bağlı iklim değişikliği (GWP-100), asidifikasyon (AP), ötrofikasyon (ÖP), toksisite (TP), fotokimyasal ozon (FOP) ve enerji tüketimi (CED) indikatörleri incelenmiştir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) analizleri hammadde temini (HM), asfalt üretimi (AU), kaplama inşaatı (KI) ve servis ömrü sonu (SS) aşamalarını kapsamaktadır. Bulgular, atık cam içerikli kaplamalarda dizel ve elektrik tüketiminin ve nitroz oksit (N₂O) haricindeki emisyon değerlerinin azaldığını göstermiştir. En yüksek enerji gereksinimleri HM ve AU aşamalarında ortaya çıkmıştır. HM aşamasında karbondioksit (CO₂) ve N₂O emisyonlarının atık cam miktarına bağlı yükseldiği görülmüştür. Atık cam ilavesi ile en yüksek çevresel kazanımlar TP ve ÖP indikatörlerinde elde edilmiştir. Düşük miktarda atık cam içerikli karışımların GWP-100 indikatörüne belirgin bir katkısının olmadığı tespit edilmiştir.</i>

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL IMPACTS ASSOCIATED WITH WASTE GLASS INCORPORATION INTO ASPHALT MIXES USING LIFE CYCLE ASSESSMENT

Keywords	Abstract
Asphalt LCA Waste Glass Energy	<i>The disposal of waste glass through landfilling is widely practiced but often criticized for its environmental impacts. This study focuses on assessing the environmental effects of using waste glass, ranging from 25% to 100%, instead of crushed stone aggregate in asphalt mixtures as an alternative to landfilling. The research investigates fuel consumption, greenhouse gas emissions, climate change (GWP-100), acidification (AP), eutrophication (EP), toxicity (TP), photochemical ozone (FOP), and energy consumption (CED) indicators. Life cycle assessment (LCA) was used to analyze the stages of raw material supply (HM), asphalt production (AU), pavement construction (KI), and end-of-service life (SS). The findings indicate that diesel and electricity consumption, as well as emissions other than N₂O, decrease in mixes containing waste glass. The highest energy requirements are observed in the HM and AU stages. In the HM stage, carbon dioxide (CO₂) and N₂O emissions increase with the amount of waste glass. Additionally, the highest environmental benefits are achieved in the TP and ÖP indicators with the addition of waste glass. Mixtures containing low amounts of waste glass show insignificant contributions to the GWP-100 indicator.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 13.02.2024

Submission Date : 13.02.2024

Kabul Tarihi : 06.07.2024

Accepted Date : 06.07.2024

* Sorumlu yazar: bykatanalp@cu.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1436124>

1. Giriş

Gelişen teknoloji ve endüstriyel faaliyetler neticesinde cam materyallerin çeşitli alanlarda kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu bağlamda cam sektörü, dünya genelindeki yıllık 180 milyon tonluk ürün hacmi ile

önemli endüstrilerden biri olarak görülmektedir (Gedik, 2021). Öte yandan, cam sanayinde yükselen üretim trendlerinin bir sonucu olarak, faydalı ömrünü tamamlamış, atık camların sayısı da son yıllarda önemli ölçüde artmıştır.



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/>).

Atık camların yönetilmesine yönelik yeniden işleme (geri dönüşüm) veya bertaraf gibi stratejilerden faydalanılmakla beraber (Kazmi ve diğ., 2020), bu faaliyetlerin dünya genelinde ortaya çıkan toplam atık cam miktarının yaklaşık %20'si kadarını kapsadığı görülmektedir (Mohajerani ve diğ., 2017). Bu bağlamda, cam atıklarının yaklaşık %80'lik bir çoğunluğu ise düzenli depolama amacı ile stok sahalarına gönderilmektedir. Düzenli depolama, uygulama kolaylığı açısından sık tercih edilen ancak uzun zamanlı fayda-maliyet analizlerinde oldukça eleştirilen bir atık yönetim stratejisidir. Avrupa Birliği Enerji, İklim Değişikliği ve Çevre komisyonunun hazırladığı raporda; AB ülkelerinde ortaya çıkan yıllık 2,2 milyar ton atığın 2017 yılında %24 kadarının düzenli depolama yolu ile yönetildiği, bu rakamın 2022 yılında %18 olarak kaydedildiği ve 2035 yılı için ise %10 seviyelerinin hedeflendiği yer almaktadır (Guillot, 2023).

Düzenli depolanan atık camların tutuşmaya ve çürümeye elverişsiz yapısından kaynaklı doğada kaybolması milyonlarca yıl sürmektedir. Bu süre boyunca, Son yıllarda özellikle geoteknik (Bilgen, 2020; Blayi ve diğ., 2020), beton teknolojisi (Qin ve diğ., 2021) ve asfalt mühendisliği (Canpolat ve diğ., 2022; Choudhary ve diğ., 2021; Katanalp ve diğ., 2019; Varol, 2023) alanlarında atıklar için alternatif yönetim stratejilerine yönelik araştırmalara ait trend yükselmektedir. Atık camların bertaraf edilmesi amacı ile bitüm modifiyeri olarak veya asfalt karışımında katkı olarak kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Kalampokis ve diğ. (2023), monolitik ve temperli cam atıklarını asfalt karışımında ağırlıkça farklı yüzdelerde agrega yerine kullanmıştır. Varol (2023), Marshall kriterlerine göre üretilen karışım numunelerinde %7 oranında atık cam tozu kullanımının şartnameye uygunluğunu değerlendirmiştir. Bir diğer çalışmada, Tahmoorian ve diğ. (2018) geri dönüştürülmüş inşaat agregaları ile hazırlanan asfalt karışımında optimum bitüm miktarının azaltılması için atık cam kullanmıştır. Geçmiş dönem bulguları, atık cam modifikasyonun bitüm penetrasyon değerinde belirgin bir etkisinin olmadığını, yumuşama noktası değerinin ise önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Ming ve diğ. (2022), atık cam modifikasyonu sonrasında bitümün koloidal yapısının sol-gel yapıdan sol yapıya yaklaştığına işaret eden penetrasyon indeksi bulguları paylaşmıştır. Asfalt karışımının yolulma performansı ve deformasyon direnci üzerinde atık cam modifikasyonun belirgin iyileştirmeler sağladığı önceki çalışmalarda yer almaktadır (Shafabakhsh ve Samed, 2014). Simone ve diğ. (2019) atık cam katkılı asfalt karışımının sağladığı düşük yoğunluğunun ve yüksek hava boşluğu oranının, kaplamanın su hasarına karşı direncini belirgin ölçüde azalttığını raporlanmıştır. Cheng ve diğ. (2021) mikro yüzey kaplama uygulamasında kaba agrega yerine %5-%20 oranlarında atık cam kullanımının asfalt karışımın

kayma direnci performansını iyileştirdiğini göstermiştir.

Son yıllarda artan sürdürülebilir faaliyetler ve bu faaliyetlerin çevresel hassasiyetler üzerindeki çıktıları asfalt araştırmalarında sürdürülebilirlik etkilerinin göz önünde bulundurulması gerektiğine işaret etmektedir (Katanalp ve diğ., 2024). Bu kapsamda, katkı miktarından kaynaklı bitüm azalmasının sağladığı avantajlar (Zarei ve diğ., 2020), geri dönüştürülmüş malzeme kullanımının çevresel avantajları (Movilla-Quesada ve diğ., 2021), performans iyileşmelerinin sağladığı avantajlardan kaynaklı çevresel kazanımlar (Ör. Bakım & Onarım planlarının tahsisi, kullanım aşamasındaki operasyonel faaliyetler) (Aliyu ve diğ., 2021; Günay ve diğ., 2023), modifiye bitüm üretim sıcaklıklarından kaynaklı faydalar (Almusawi ve diğ., 2022; Katanalp ve Ahmedzade, 2023) veya asfalt kaplama için gerekli ham maddelerin temini sırasındaki verimlilikler (Hamzah ve diğ., 2010), sıklıkla araştırılan başlıkların başında gelmektedir.

Atık cam ilavesinin asfalt kaplamanın hizmet süresi boyunca sağladığı çevresel kazanımlar dikkat çekicidir. Mammeri ve diğ. (2023), kırmataş agrega yerine atık cam kullanılarak üretilen asfalt karışımların solar radyasyon etkisi altında ısı adası oluşturma potansiyellerinin %47 oranında azaldığını göstermiştir. Huang ve diğ. (2009) farklı oranlarda uçucu kül, atık cam ve geri kazanılmış asfalt kullanılarak üretilen binder ve bitümlü temel tabakalarının ürettiği CO₂ salınımlarını araştırmıştır. Bir diğer çalışmada, Chiu ve diğ. (2008) %10 atık cam ilavesinin asfalt karışımın 40 yıl süre ile oluşturduğu çevresel yüklerin geleneksel asfalt karışımına kıyasla belirgin olmadığını göstermiştir. Tushar ve diğ. (2023) agrega karışımında ince malzeme yerine %20 oranında atık cam kullanımının 10,4 milyar dolarlık bir kazanım sağlayabileceğini göstermiştir.

Bu çalışma kapsamında, atık cam katkılı asfalt karışımların ortaya çıkartacağı çevresel yükler; asfalt karışım için gerekli ham maddelerin temini (HM), asfalt üretimi (AU), kaplama inşaatı (KI) ve asfaltın servis ömrü sonunda kaldırılması (SS) aşamaları için yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) ile analiz edilmiştir. Analizlerde referans kaplama olarak sıcak asfalt karışım (BSK) ve ince agrega yerine %25 (BSK-25WG), %50 (BSK-50WG), %75 (BSK-75WG) ve %100 (BSK-100WG) oranlarında atık cam tozu içeren asfalt karışımlar dikkate alınmıştır. Araştırmanın motivasyonunu oluşturan temel beklentiler;

- Atık camların asfalt kaplama uygulamalarında bertaraf edilmesinin oluşturacağı sera gazı emisyonlarının belirlenmesi, sunulan atık yönetim alternatifinin sağlayacağı potansiyel fayda-maliyetlerinin saptanması
- Atık cam katkılı asfalt karışımlarda oluşacak orta-nokta etkilerinin ve enerji, maliyet

giderlerinin incelenmesi ve geleneksel asfalt karışımları ile karşılaştırılması

- Cam atıkların asfalt uygulamalarında bertarafına yönelik yerel literatüre katkı sağlanması şeklindedir.

Makalenin devamında YDD metodolojisi, sistem sınırları ve envanter hakkında bilgiler paylaşılmış ve geleneksel ve atık cam içerikli asfalt karışımların YDD analizlerine ilişkin sonuçlar paylaşılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. YDD Metodolojisi

Çalışma kapsamında geleneksel ve atık cam katkı asfalt karışımların çevresel ve ekonomik etkileri YDD analizleri ile belirlenmiştir. Analizler ISO 10440:44 teknik standardı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

2.1.1. Sistem Sınırları ve Fonksiyonel Birim

Envanter verilerinin derleneceği sistem sınırları agregası, bitüm ve atık cam materyallerinin temini, asfalt karışım üretimi, kaplama inşaatı ve hizmet ömrü sonunda kaplamanın kaldırılması aşamalarını kapsamaktadır. Ayrıca, ham maddelerin, asfalt karışımların ve kaldırılan kaplamanın geri dönüşüm sahasına taşınması sırasında oluşan çevresel yükler ve maliyetler çalışma kapsamında dikkate alınmıştır. Asfalt kaplamanın kullanımı sırasında oluşan çevresel yükler ve bakım, onarım, işletme giderleri kapsam dışında bırakılmıştır. Araştırmada, fonksiyonel birim (functional unit, fu) olarak 1 km uzunluğunda, 10 metre genişliğinde ve 0,05 m kalınlığında BSK olarak dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında incelenen sistem sınırları ve envanter aşamaları Şekil 1'de gösterilmiştir.

2.1.2. YDD envanteri

Envanter araştırmasında daha önce de değinildiği üzere HM, AU ve SS aşamaları dikkate alınmıştır. YDD envanteri geçmiş dönem çalışmalarından ve endüstriden uzmanlar ile birebir görüşmelerden elde edilen veriler ile derlenmiştir. HM aşamasında asfalt karışımı oluşturan bileşenlerin ağırlıkça miktarları ve bu sırada çalışan iş makinalarının giderleri dikkate alınmıştır. Tablo 1'de ilgili ham malzemeler için gerekli yakıt giderleri sunulmuştur.

Bitümün rafine edilmesinde gerekli doğal gaz ve elektrik çıktıları (Cong ve diğ., 2020; Yang, 2014), agreganın taş ocağındaki maliyeti (Farina ve diğ., 2023; Marceau ve diğ., 2007) ve atık camın agregaya dönüştürülmesi prosesindeki yakıt giderleri (Blengini ve diğ., 2012; Demirel ve diğ., 2019) literatürden derlenmiştir.

Tablo 1. Kullanılan materyallere ilişkin yakıt giderleri

Materyal	Dizel (kg)	Elektrik (kWh)	Doğalgaz (m ³)
Atık cam (kg)	0,00043	0,0011	0,00028
Bitüm (kg)	-	0,0392	0,000015
Agrega (kg)	0,00058	0,00658	0,00013

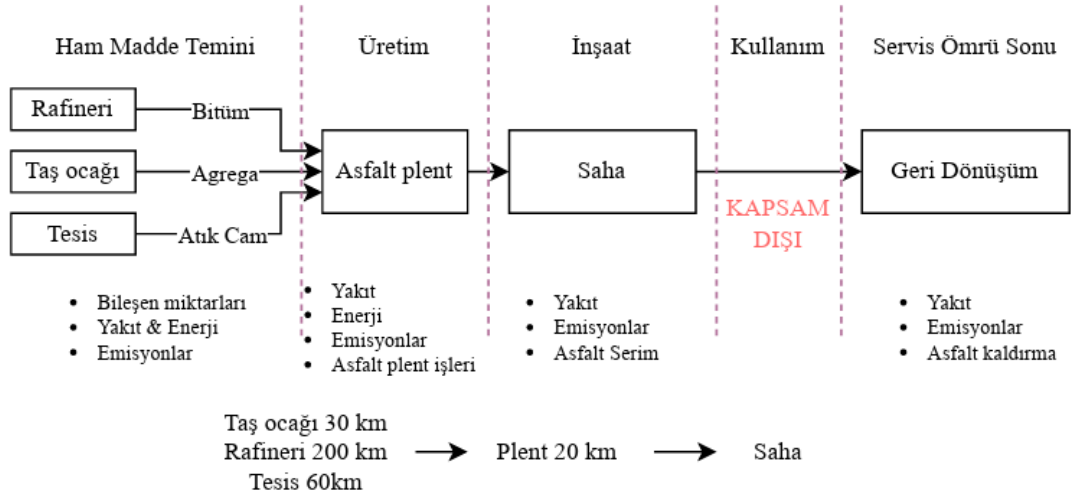
Tablo 2. Çalışmada incelenen karışım bileşenleri ve fonksiyonel birim için gerekli miktarlar

Materyal	Karışım	wt%	ton/m ³	Asfalt (m ³)	ton/fu
Agrega	BSK	95,5	2,57	2,454	1227,175
	BSK-25WG	71,625	2,57	1,841	920,381
	BSK-50WG	47,75	2,57	1,227	613,587
	BSK-75WG	23,875	2,57	0,614	306,794
	BSK-100WG	0	2,57	0	0
	BSK	4,5	1,03	0,046	23,175
	BSK-25WG	4,5	1,03	0,046	23,175
	BSK-50WG	4,5	1,03	0,046	23,175
	BSK-75WG	4,5	1,03	0,046	23,175
	BSK-100WG	4,5	1,03	0,046	23,175
Bitüm	BSK	0	0,99	0	0
	BSK-25WG	23,875	0,99	0,236	118,181
	BSK-50WG	47,75	0,99	0,472	236,362
	BSK-75WG	71,625	0,99	0,709	354,544
	BSK-100WG	95,5	0,99	0,945	472,725
	Atık cam				

Tablo 2'de çalışmada asfalt karışım türüne göre hammadde miktarları ile ilgili detaylar yer almaktadır. Geleneksel asfalt karışım, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında atık cam içerikli karışımların bileşen oranları 1 m³ asfalt karışım ve fonksiyonel birim için ton cinsinden verilmiştir.

AU aşamasında plent işlerinden kaynaklı yakıt ve enerji sarfiyatları, SS aşamasında ise asfalt kaplamanın

kaldırılması sırasında çalışan iş makinalarının giderleri dikkate alınmıştır. Asfalt üretim faaliyetlerinde Almusawi vd. (2022) çalışmasında yer alan plent dikkate alınmıştır. Kule tipi plente ait detaylar Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma kapsamında dikkate alınan YDD sistem sınırları

Tablo 3. Dikkate alınan kule tipi plente ilişkin detaylar

Özellik	Değer
Kapasite (ton/h)	160
Elektrik (kWh)	3,24
Dizel (kg)	0,774
Doğal gaz (m ³)	0,008

Asfalt karışımların inşaat sahasında serilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinin 172 kg/km dizel tüketimine sahip serici, 105 kg/km dizel tüketimine sahip silindir ile gerçekleştirileceği varsayılmıştır (Wang ve diğ., 2021).

Ham maddelerin asfalt plentine taşınması, asfalt karışımın plentten inşaat sahasına taşınması ve kaldırılan asfalt karışımın geri dönüşüm sahasına taşınması aşamalarında 0,28 kg/km dizel yakıtlı, 24-ton taşıma kapasiteli, tek tip damperli kamyon kullanılacağı düşünülmüştür. Hizmet ömrünü tamamlamış asfalt kaplamanın kaldırılması operasyonunda 40 kg/s dizel yakıtlı ve 120 ton/s çalışma kapasiteli greyder, 400 ton/s kapasiteli ve 17,2 kg/s dizel tüketimine sahip yükleyici, 0,0240 s/m² asfalt kaldırma kapasiteli ve 16,4 kg/s dizel tüketimine sahip kırıcı-ekskavatör kullanılacağı dikkate alınmıştır (Moins ve diğ., 2023; Oner ve Yabaneri, 2023).

Analizlerde her YDD aşaması için gerekli yakıt tüketimi ve enerji sarfiyatı değerleri belirlenmiş ve

karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), karbonmonoksit (CO), nitroz oksit (N₂O), nitrojendioksit (NO₂) ve kükürtdioksit (SO₂) emisyonları Tablo 4'te gösterilen dönüşümler kullanılarak hesaplanmıştır (Cong vd., 2020),(Agency, 2023).

Tablo 4. Kullanılan yakıtların enerji ve emisyon dönüşüm değerleri

Yakıt	Enerji (MJ)	Emisyonlar (kg)					
		CH ₄	SO ₂	N ₂ O	NO ₂	CO	CO ₂
Benzin (kg)	4,31E+1	3,07E+0	0,13E-3	0,3E-3	0,35E-3	0,3E-3	1,60E-3
Dizel (kg)	4,27E+1	0,13E-3	0,7E-3	0,3E-3	2,44E-3	0,35E-3	3,19E+0
Elektrik (kWh)	3,60E+0	9,30E-1	2,63E-3	1,42E-3	1,74E-3	3,17E-3	2,58E-3
Doğal gaz (m ³)	3,96E+01	3,75E-02	-	3,75E-03	-	-	1,99E+0

2.2.3. YDD Orta Nokta Etki Kategorileri

Orta-nokta etkileri, YDD envanter aşamalarının her biri için fonksiyonel birim başına emisyon değerlerinin hesaplanması ve bu değerlerin ilgili katsayılar kullanılarak etki kategorilerine dönüştürülmesi ile belirlenmiştir. Tablo 5'te asfalt kaplama uygulamalarında aşama bazlı çevresel etki kategorileri ve teknik detaylar verilmiştir.

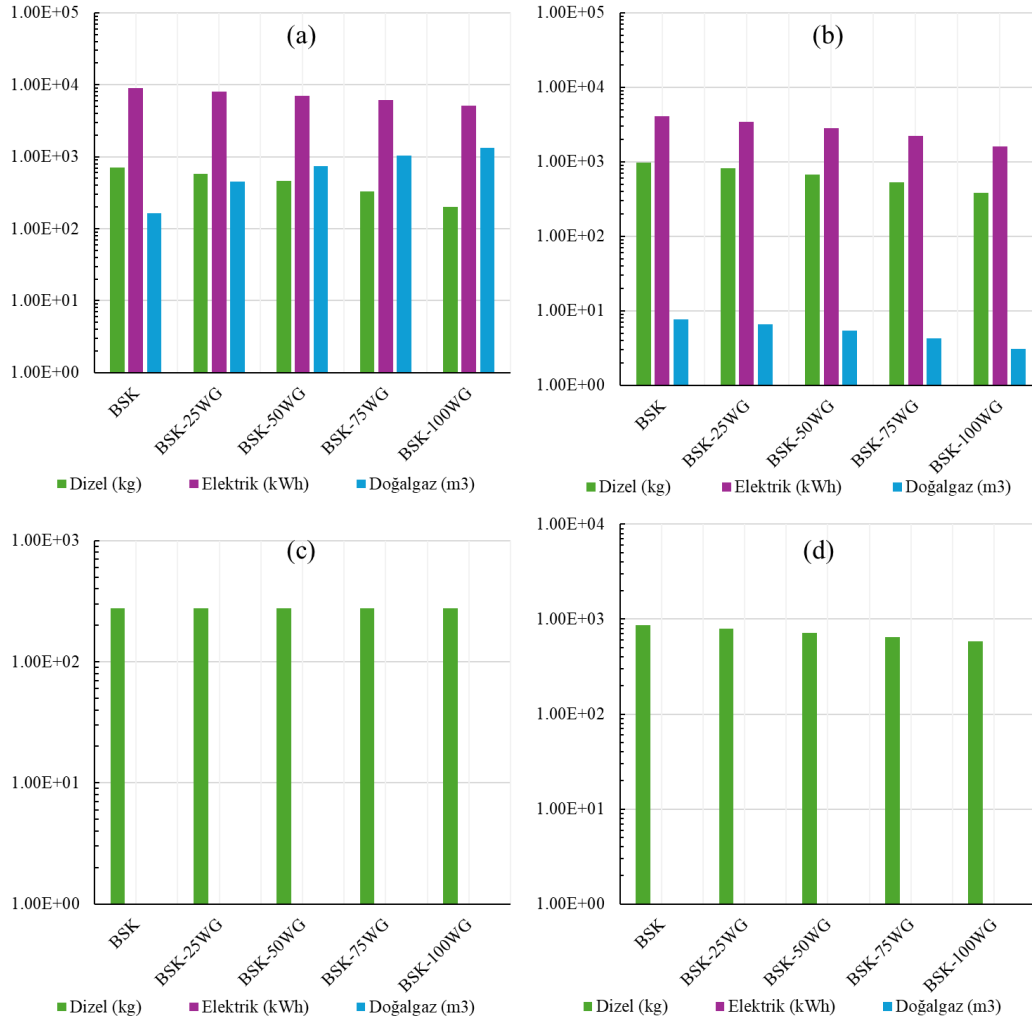
Tablo 5. Envanter aşamalarına göre çevresel etki faktörleri ve dönüşüm değerleri

Aşama	Etki alanı	Birim	Envanter yükü	Katsayı
HM	Fosil yakıt tüketimi (CED)	GJ	Enerji (GJ)	1
		kg	CO2	1
	Küresel ısınma (GWP100)	CO2-eşd.	CH4	23
		(100-yıl)	N2O	296
		Asidifikasyon (AP)	kg	SO2
	SO2-eşd.		NO2	0,7
AU	Fotokimyasal ozon (FOP)	kg	NO2	0,028
		C2H4-eşd.	CO	0,027
			CH4	0,006
			SO2	0,096
	Toksosite (TP)	kg 1,4-DCB-eşd.	NO2	1,2
			CO	2,4
SS	Ötrofikasyon (EP)	kg PO4-eşd.	N2O	0,13

3. Bulgular ve Tartışma

Envanter analizlerinde her bir YDD aşaması için gerekli yakıt değerleri belirlenmiş ve emisyonlar ile ilişkilendirilmiştir. YDD envanterin aşamalara göre analizleri ile elde edilen yakıt tüketimi değerleri Şekil 2'de yer almaktadır. Değerler incelendiğinde, asfalt karışımındaki ince agrega yerine ikame edilen atık cam oranının artışı ile Şekil 2a'da gösterilen HM aşaması için dizel ve benzin yakıt tüketim değerlerinin azaldığı, doğalgaz tüketim değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Atık camın asfalt karışımında kullanılabilir forma dönüştürülmesinde gerekli enerji miktarının kırma taş agregaya göre daha yüksek olduğu bulguları literatürde yer almaktadır (Bianco ve diğ., 2021; Hossain ve diğ., 2016).

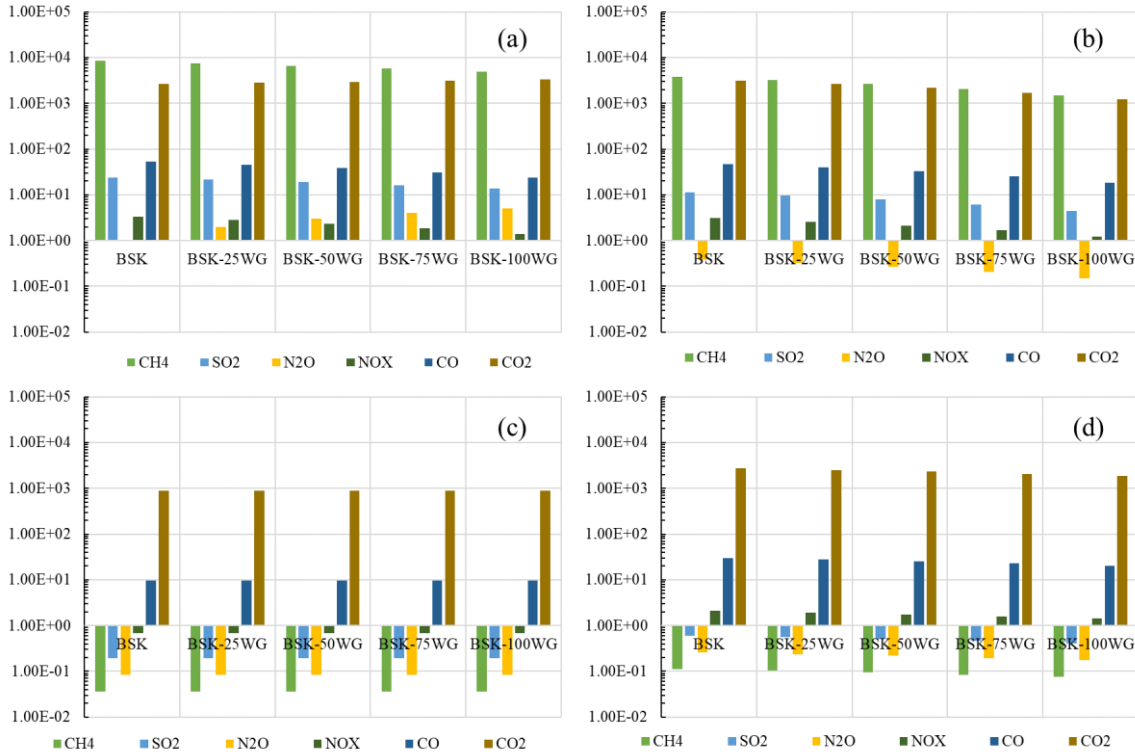
Şekil 2b ve Şekil 2d'de yer alan AU ve SS aşamalarında ise tüm yakıt tüketimlerinin atık cam miktarına bağlı azaldığı görülmektedir. Kırma taş agregaya göre çok daha düşük yoğunluğa sahip atık camın (Tablo 2) asfalt karışımındaki miktarının artması, karışım özgül ağırlığını düşürmüş dolayısı ile fonksiyonel birim için gerekli bileşen miktarı azalmıştır.



Şekil 2. Envanter aşamalarına göre yakıt tüketim değerleri (a) HM (b) AU (c) KI (d) SS

Şekil 2c'de yer alan grafikte KI aşamasındaki dizel yakıt tüketimlerinin tüm asfalt karışım türleri için eşit olduğu görülmektedir. Bu durum, KI aşamasında kullanılan tek tipte asfalt serim ve sıkıştırma ekipmanları ile ilişkilidir. YDD aşamaları için belirlenen

yakıt tüketim değerleri, yer alan emisyon dönüşüm değerleri (Tablo 4) ve bileşen oranları kullanılarak asfalt karışımların YDD sistem sınırları içerisinde ürettiği CH₄, CO₂, CO, N₂O, NO_x ve SO₂ emisyonları hesaplanmış ve Şekil 3'te sunulmuştur.



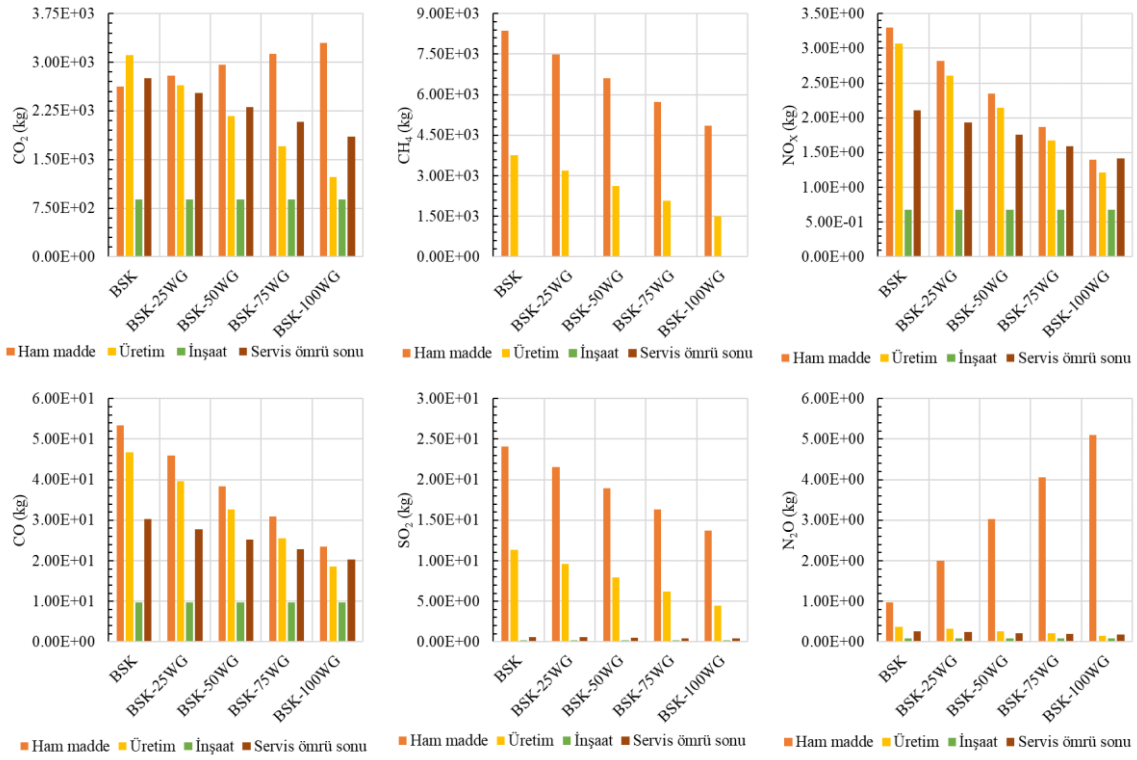
Şekil 3. Envanter aşamalarına göre emisyon değerleri (a) HM (b) AU (c) KI (d) SS

Şekil 3b'de yer alan AU aşamasındaki emisyon değerlerinin HM aşamasına benzer trendde sahip olduğu, N₂O ve CO₂ emisyonlarının AU aşamasında atık cam miktarına bağlı olarak azaldığı görülmüştür. İş makinesi çalışmalarının ve operasyonel faaliyetlerin dikkate alındığı KI ve SS (Şekil 3c ve Şekil 3d) aşamalarında ise CO ve CO₂ emisyonlarının belirgin etkisi göze çarpmaktadır. KI aşamasındaki emisyon değerleri tüm asfalt karışım türleri için eşit olarak elde edilirken, SS aşamasında %50 atık cam içeriğinde CO ve CO₂ emisyonlarının yaklaşık 1.2 kat azaldığı belirlenmiştir.

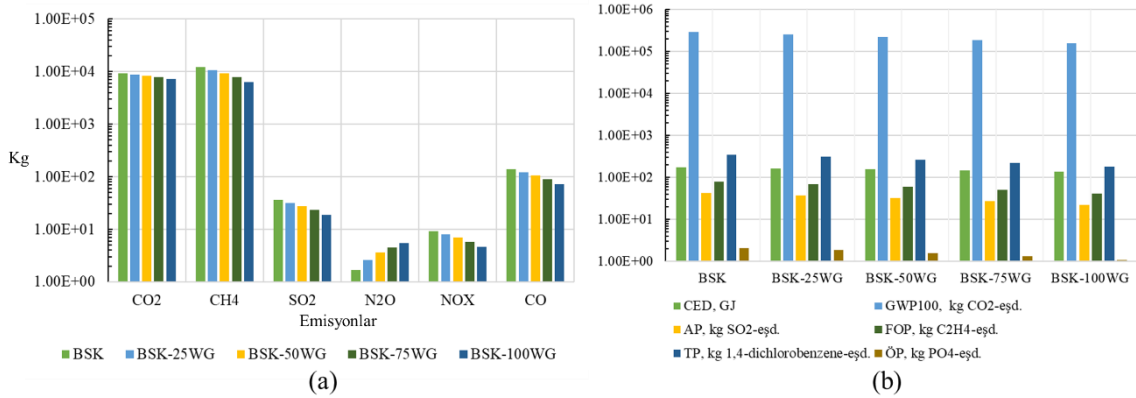
Asfalt karışımların emisyon oluşturma potansiyellerinin YDD aşamalarına göre değişimi Şekil 4'te yer almaktadır. Grafikler incelendiğinde, CO₂ emisyonu dışında tüm emisyonlar için en yüksek değerlerin HM aşamasında olduğu belirlenmiştir. CH₄ ve SO₂ emisyonlarında AU ve HM, N₂O emisyonu için ise HM aşamasının diğer YDD envanter bileşenlerine göre daha baskın olduğu görülmüştür. CO₂ emisyonu için AU aşamasının katkısı daha yüksek bulunmuştur. CO ve NO_x emisyonlarında %100 oranında atık cam

içerikli karışım türleri için SS aşamalarının etkisi AU ve HM aşamasına göre daha yüksek olarak bulunmuştur.

YDD envanter analizi sonuçları, asfalt karışımında farklı oranlarda atık cam ikamesinin dizel ve elektrik gereksinimlerinde azalmaya sebep olduğunu ve bu durumun emisyon salınımlarına olumlu olarak yansıdığını ortaya koymuştur. Öte yandan atık camın, agregaya göre daha yüksek doğal gaz tüketimi gereksinimleri özellikle HM aşamasındaki N₂O ve CO₂ emisyonları üzerinde etkili bulunmuştur. Atık cam ilavesi ile elde edilen geleneksel asfalta göre daha düşük emisyon çıktıları literatürde paylaşılmıştır (Huang vd., 2009). Çalışma kapsamında kullanım aşamasının dikkate alınmadığını belirtmekte fayda vardır. Nitekim, Chiu vd. (2008) atık cam takviyeli asfalt karışımında düşük durabilite değerlerine istinaden uygulanan sık bakım-onarım aktivitelerinin bir sonucu olarak 40 yıllık analiz süresinde yaklaşık %19 emisyon artışı ile sonuçlandığını raporlamıştır. YDD etki analizi araştırması, incelenen asfalt karışımların sistem sınırları boyunca ürettiği toplam emisyon değerlerinin kategorizasyon faktörleri (Tablo 5) aracılığı ile ekti kategorilerine dönüştürülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'te YDD etki analizi sonuçları paylaşılmıştır.



Şekil 4. Envanter aşamalarının emisyon oluşturma potansiyelleri

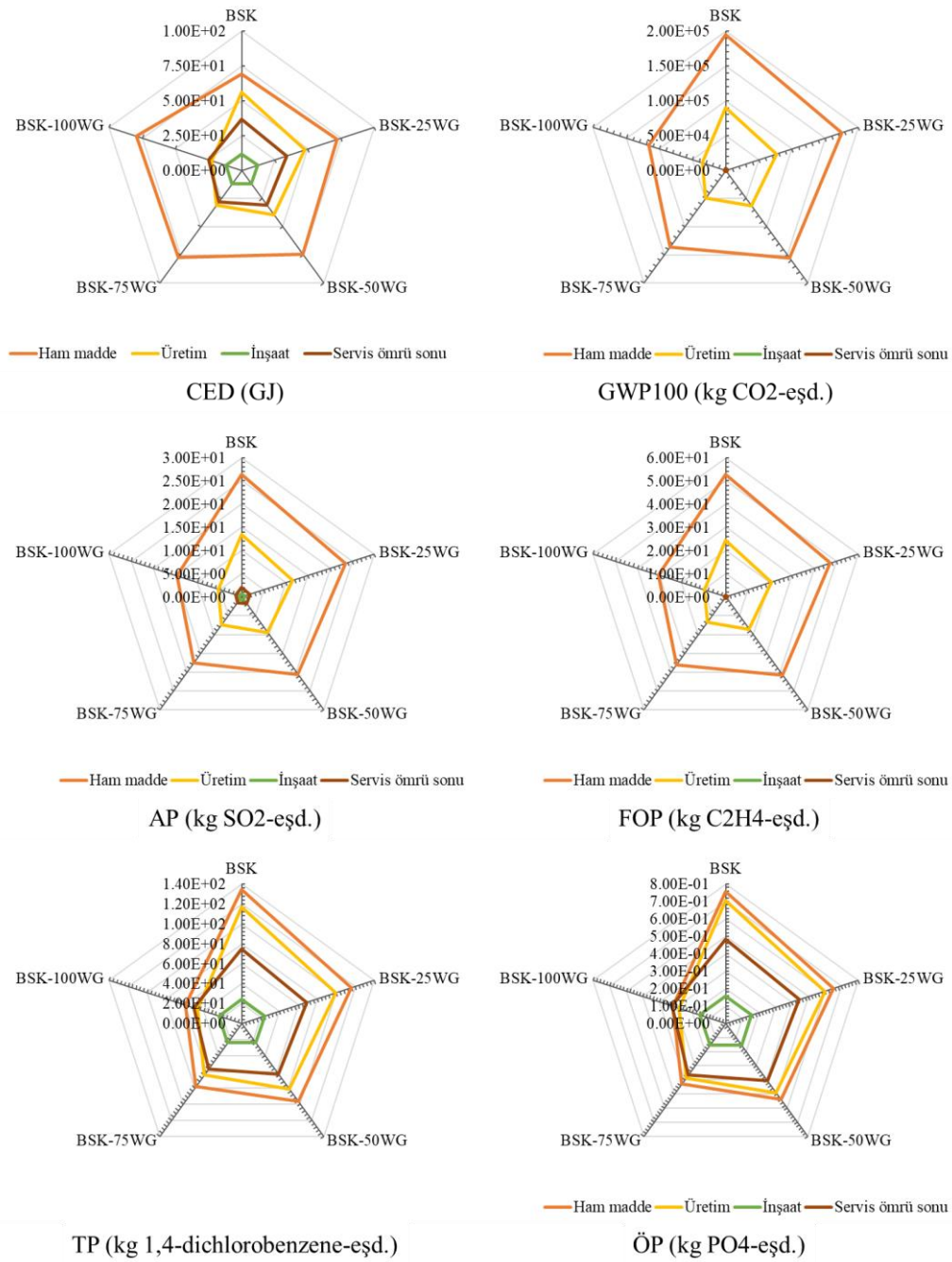


Şekil 5. İncelenen asfalt kaplamaların (a) toplam emisyon değerleri (b) çevresel etki faktörleri

Grafikler incelendiğinde, Şekil 5a'da yer alan N₂O haricindeki toplam emisyon değerlerinin karışım içerisindeki atık cam miktarına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Geleneksel asfalt kaplama ile karşılaştırıldığında %25 atık cam içeren asfalt karışımlarda SO₂, NO_x ve CO emisyonları sırası ile 1,137, 1,138 ve 1,138 kat daha düşük olarak elde edilmiştir. Atık cam içeriğinin CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi ise %25 atık cam oranında %5,62 olarak kaydedilmiştir. CO₂ emisyonlarındaki bu belli-belirsiz etkiye geçmiş dönem çalışmalarında değinilmiştir (Huang vd., 2009).

N₂O emisyonu değerlendirildiğinde, karışımdaki atık cam miktarına bağlı kademeli olarak yükseldiği

belirlenmiştir. Bu bağlamda, %25 ve %100 atık cam içeriğinde geleneksel asfalta göre sırası ile 1,56 ve 3,27 kat daha fazla diazot monoksit salınımının gerçekleştiği tespit edilmiştir. N₂O emisyonlarının, stratosferik ozon tabakasında inceleme ve iklim değişikliği gibi konulara olan etkisi literatürde tartışılmaktadır (Tian ve diğ., 2020). Bu bağlamda, atık cam ilavesinin N₂O salınımları üzerinde olumsuz etkiye sahip olacağını not etmek gerekir. Atık cam muhteva eden asfalt karışımların emisyon salınımlarında en yüksek değerler CH₄ sera gazında görülmüştür. Bu noktada incelenen emisyonların proses bazlı hesaplandığına ve malzemelerin yıllar içinde bozunumları sırasında ortaya çıkan emisyonların sistem sınırları dışında bırakıldığına dikkat çekilmelidir.



Şekil 6. Atık cam oranına bağlı çevresel yüklerin değişimi

Şekil 6'da incelenen asfalt karışımları için, çalışma kapsamında dikkate alınan çevresel indikatörlerin ve toplam enerji gereksiniminin YDD aşamalarına göre değişimi sunulmuştur. Asfalt karışımların YDD aşamalarına göre enerji gereksinimleri değerlendirildiğinde geleneksel asfalt karışımında (%100 kırmataş agrega içerikli) CED sarfiyatlarının ağırlıklı olarak HM ve AU aşamalarında kaydedildiği görülmüştür. Agregaların kırılması, plentte kurutulması, rafine bitümün elde edilmesi, uygun sıcaklıklarda ısıtılarak karıştırılması gibi parametreler

geçmiş dönem çalışmalarında bu aşamalar için yoğun enerji tüketimine ihtiyaç olduğuna işaret etmektedir (Dias ve diğ., 2022; Zhang ve diğ., 2019). Bununla beraber, karışım içerisindeki atık cam ilavesinin artışı ile CED indikatörünün HM ve AU aşamalarındaki değerleri azalmaktadır. Bulgular, kırmataş yerine tamamen atık cam kullanıldığı durumda HM, AU ve SS aşamaları için sırası ile 3,63, 2,52 ve 1,48 kat enerji tasarrufu sağlanabileceğini ortaya koymuştur.

GWP-100'ün aldığı değerlerin aşamalara bağlı değişimi incelendiğinde HM aşamasının en yüksek potansiyele

sahip olduğu görülmüştür. Atık cam oranının %25, %50 ve %75 olduğu durumlar için karışımların geleneksel asfalt karışıma göre GWP-100 indikatörüne etkileri HM aşamasında sırasıyla 1,26, 1,72 ve 2,70 olarak elde edilmiştir. İlgili değerler AU aşamasında 1,17, 1,43 ve 1,82 olarak kaydedilmiştir. Ek olarak, KI aşamasının GWP-100 indikatörüne etkisinin tüm karışımlarda eşit olduğunun belirtilmesi gerekir. Bu durum, daha önce de değinildiği üzere tek tip inşaat ekipmanı kullanımından kaynaklıdır. AP ve FOP çıktıları için de benzer yorumlar yapılabilir. Literatürde atık cam ilavesinin FOP ve ÖP üzerindeki etkilerine yönelik bulgular yer almaktadır (Khater ve diğ., 2021). Bununla beraber TP ve ÖP indikatörleri üzerinde, %75 ve %100 oranlarında atık cam içeren karışımlarda SS aşamasının belirgin etkisi gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, %75 atık cam içerikli asfalt karışımında SS aşamasının toksisite üzerindeki etkileri, HM aşamasına ile eşit, %100 atık cam içerikli karışımında ise HM aşamasından 1,08 kat daha yüksek bulunmuştur.

4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında geleneksel asfalt karışım ve %25 ila %100 aralığında atık cam ikame eden asfalt karışımların gerekli ham maddelerin temini & üretimi sürecinden, asfalt kaplamanın kaldırılmasına kadar yaşam döngüsü boyunca yakıt tüketimlerinin ve sera gazı emisyonlarının hesaplanması, buna bağlı çevresel etkilerinin karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Araştırmadan çıkarılan temel sonuçlar ve genel değerlendirme aşağıda sunulmuştur.

- Araştırma sonuçları asfalt kaplama uygulamalarında kırmataş ince agregaya yerine belirli oranda atık cam kullanımı ile SO₂, NO_x, CO, CH₄ ve CO₂ emisyonlarında azalma sağlanabileceğini gösterdi.
- Atık camın kırmataş agregaya nazaran daha düşük dizel ve elektrik gereksinimi ve düşük özgül ağırlığa sahip atık camın dikkate alınan fonksiyonel birim (1 km uzunluk, 10 m genişlik, 0,05m kalınlık) için gerekli asfalt karışım miktarını (kg) azaltması durumları AU ve SS aşamalarındaki emisyon ve yakıt tüketimi değerlerinde kazanım sağladı.
- N₂O emisyonu atık cam oranına bağlı olarak kademeli arttı. HM aşamasındaki atık camın yüksek doğal gaz gereksinimi buna temel sebep olarak görüldü.
- Atık cam ilavesi ile tüm çevresel indikatörlerde kazanım sağlandı. En yüksek kazanımlar TP ve ÖP'de elde edildi. Düşük oranda (%25) atık cam içerikli kaplamalarda GWP-100 indikatöründeki kazanımlar belirginliğini yitirdi. Çevresel indikatörlere en yüksek katkıların HM aşamasında gerçekleştiği belirlendi.

Bu kazanımlara ek olarak araştırma bulguları, %25, %50, %75 ve %100 atık cam ikame eden karışımlarda incelenen fonksiyonel birim başına sırası ile 118, 236, 354 ve 472 ton atık camın düzenli depolanması yerine geri dönüştürülmesine imkân sağlanabileceğini ortaya koymuştur.

Atık camların düzenli depolanması halen yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Düzenli depolamanın getirdiği olumsuzluklar, cam atıklarının yönetilmesinde alternatif stratejilerin benimsenmesini gerekli kılmaktadır. Çalışmada cam atıklarının yönetiminde asfalt karışımların etkili olabileceğine yönelik bulgular sunulmuştur. Araştırmada HM, AU, KI ve SS aşamaları YDD sınırlarına dahil edilmiş kullanım, bakım-onarım faaliyetleri, yeniden inşaat gibi aşamalar ise veri güvenilirliğinden ve yetersizliğinden kaynaklı olarak sistem sınırları dışında bırakılmıştır.

YDD analizlerinde sistem sınırlarının ve metodolojinin analizlerin amacına göre beşikten-beşiğe, beşikten-mezara veya beşikten-kapıya şeklinde değişebileceği belirtilmelidir. Bununla beraber, yeterli veri ve kabul görmüş spesifikasyonların bulunmaması durumunda analizler bazı envanter aşamaları için senaryo bazlı gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada, ince agregaya yerine belirli oranda atık cam ikame edilmesinin oluşturacağı potansiyel çevresel yüklerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda beşikten-kapıya bir YDD metodolojisi benimsenmiş ve kullanım, servis süresi, bakım & onarım gibi kaplamaların performans parametrelerinin de dikkate alınması gerektiği aşamalar analiz kapsamı dışında bırakılmıştır. Asfalt kaplamalarda agregaya yerine farklı oranlarda ve dane boyutlarında atık cam kullanımının karışımın mühendislik performansı üzerinde olumlu etki yaptığını dair bulgular geçmiş dönemde paylaşılmıştır. Öte yandan, performans analizlerinin asfalt YDD envanteri ile entegre edildiği ve senaryo bazlı karşılaştırmalara dayalı analizler gelecek çalışmalar için faydalı olacaktır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Burak Yiğit Katanalp, analizlerin gerçekleştirilmesi, verilerin derlenmesi, makalenin yazılması ve düzenlenmesi aşamalarında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Agency, U. S. E. P. (2023). *Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories*. Retrieved from https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-03/ghg_emission_factors_hub.pdf

- Aliyu, M. S., Ugochi, E. A., Ohagoro, O. C., Ahmad, U. H., ve Chibueze, A. (2021). A Review on Performance of Hybrid Asphalt Mix in Pavement Maintenance and Rehabilitation. *environment*, 3(8).
- Almusawi, A., Sengoz, B., Ozdemir, D. K., ve Topal, A. (2022). Economic and environmental impacts of utilizing lower production temperatures for different bitumen samples in a batch plant. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00987.
- Bianco, I., Tomos, B. A. D., ve Vinai, R. (2021). Analysis of the environmental impacts of alkali-activated concrete produced with waste glass-derived silicate activator—a LCA study. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128383.
- Bilgen, G. (2020). Utilization of powdered glass as an additive in clayey soils. *Geotechnical and geological engineering*, 38(3), 3163-3173.
- Blayi, R. A., Sherwani, A. F. H., Ibrahim, H. H., Faraj, R. H., ve Daraei, A. (2020). Strength improvement of expansive soil by utilizing waste glass powder. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00427.
- Blengini, G. A., Busto, M., Fantoni, M., ve Fino, D. (2012). Eco-efficient waste glass recycling: Integrated waste management and green product development through LCA. *Waste management*, 32(5), 1000-1008.
- Canpolat, M., Beycioglu, A., Morova, N., Cetin, S., Cetin, H. M., ve Gündoğan, H. (2022). Atık olivin mineralinin asfalt betonunda filler olarak kullanımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(2), 555-566.
- Cheng, M., Chen, M., Wu, S., Yang, T., Zhang, J., ve Zhao, Y. (2021). Effect of waste glass aggregate on performance of asphalt micro-surfacing. *Construction and Building Materials*, 307, 125133.
- Chiu, C.-T., Hsu, T.-H., ve Yang, W.-F. (2008). Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(3), 545-556.
- Choudhary, J., Kumar, B., ve Gupta, A. (2021). Utilization of waste glass powder and glass composite fillers in asphalt pavements. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1-17.
- Cong, L., Guo, G., Yu, M., Yang, F., ve Tan, L. (2020). The energy consumption and emission of polyurethane pavement construction based on life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120395.
- Demirel, S., Öz, H. Ö., Güneş, M., Çiner, F., ve Adın, S. (2019). Life-cycle assessment (LCA) aspects and strength characteristics of self-compacting mortars (SCMs) incorporating fly ash and waste glass PET. *The international journal of life cycle assessment*, 24, 1139-1153.
- Dias, A., Nezami, S., Silvestre, J., Kurda, R., Silva, R., Martins, I., ve de Brito, J. (2022). Environmental and economic comparison of natural and recycled aggregates using LCA. *Recycling*, 7(4), 43.
- Farina, A., Kutay, M. E., ve Anctil, A. (2023). Environmental assessment of asphalt mixtures modified with polymer coated rubber from scrap tires. *Journal of Cleaner Production*, 418, 138090.
- Gedik, A. (2021). An exploration into the utilization of recycled waste glass as a surrogate powder to crushed stone dust in asphalt pavement construction. *Construction and Building Materials*, 300, 123980.
- Guillot, J. D. (2023). *Waste management in the EU: infographic with facts and figures*. (20180328STO00751). European Parliament Retrieved from https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/4/story/20180328STO00751/20180328STO00751_en.pdf#:~:text=Every%20year%202.2%20billion%20tonnes%20of%20waste%20are,by%20municipalities%2C%20which%20is%20mainly%20generated%20by%20households.
- Günay, T., Katanalp, B. Y., Taştan, M., ve Ahmedzade, P. (2023). A posterior hybrid ML optimization to analyze the relationship between high temperature rheological factors of the Superpave PG and improved PG+ asphalt specifications. *Construction and Building Materials*, 401, 132803.
- Hamzah, M. O., Jamshidi, A., ve Shahadan, Z. (2010). Evaluation of the potential of Sasobit® to reduce required heat energy and CO2 emission in the asphalt industry. *Journal of Cleaner Production*, 18(18), 1859-1865.
- Hossain, M. U., Poon, C. S., Lo, I. M., ve Cheng, J. C. (2016). Comparative environmental evaluation of aggregate production from recycled waste materials and virgin sources by LCA. *Resources, Conservation and Recycling*, 109, 67-77.
- Huang, Y., Bird, R., ve Heidrich, O. (2009). Development of a life cycle assessment tool for construction and maintenance of asphalt pavements. *Journal of Cleaner Production*, 17(2), 283-296.
- Kalampokis, S., Kalama, D., Kesikidou, F., Stefanidou, M., ve Manthos, E. (2023). Assessment of waste glass

- incorporation in asphalt concrete for surface layer construction. *Materials*, 16(14), 4938.
- Katanalp, B. Y., ve Ahmedzade, P. (2023). Rheological Evaluation and Life Cycle Cost Analysis of the Geopolymer Produced from Waste Ferrochrome Electric Arc Furnace Fume as a Composite Component in Bitumen Modification. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 35(11), 04023401.
- Katanalp, B. Y., Tastan, M., ve Ahmedzade, P. (2024). Recycling the electric arc furnace waste after geopolymerization in bitumen: experimental analyses and LCA study. *Materials and Structures*, 57(5), 103.
- Katanalp, B. Y., Yildirim, Z. B., Karacasu, M., ve Ibrici, T. (2019). Atık Kömür Katkili Asfalt Betonunun Performans Karakteristiklerinin Yapay Sınır Ağları ve Merkezi Kompozit Tasarım Yöntemleri Kullanılarak Karşılaştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(3), 680-688.
- Kazmi, D., Williams, D. J., ve Serati, M. (2020). Waste glass in civil engineering applications—A review. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 17(2), 529-554.
- Khater, A., Luo, D., Abdelsalam, M., Ma, J., ve Ghazy, M. (2021). Comparative life cycle assessment of asphalt mixtures using composite admixtures of lignin and glass fibers. *Materials*, 14(21), 6589.
- Mammeri, A., Vaillancourt, M., ve Shamsaei, M. (2023). Experimental and numerical investigation of using waste glass aggregates in asphalt pavement to mitigate urban heat islands. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 1-14.
- Marceau, M., Nisbet, M. A., ve Van Geem, M. G. (2007). *Life cycle inventory of portland cement concrete*: Portland Cement Association.
- Ming, N. C., Jaya, R. P., Awang, H., Ing, N. L. S., Hasan, M. R. M., ve Al-Saffar, Z. H. (2022). Performance of glass powder as bitumen modifier in hot mix asphalt. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 128, 103263.
- Mohajerani, A., Vajna, J., Cheung, T. H. H., Kurmus, H., Arulrajah, A., ve Horpibulsuk, S. (2017). Practical recycling applications of crushed waste glass in construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 156, 443-467.
- Moins, B., Beck, C., Hernando, D., ve Audenaert, A. (2023). An investigation on the use of lean asphalt as an alternative base material in asphalt pavements by means of laboratory testing, life cycle assessment, and life cycle cost analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 194, 106992.
- Movilla-Quesada, D., Lagos-Varas, M., Raposeiras, A. C., Muñoz-Cáceres, O., Andrés-Valeri, V. C., ve Aguilar-Vidal, C. (2021). Analysis of greenhouse gas emissions and the environmental impact of the production of asphalt mixes modified with recycled materials. *Sustainability*, 13(14), 8081.
- Oner, J., ve Yabaneri, Y. (2023). Carbon Footprint Detection of Asphalt Pavements. *Usak University Journal of Engineering Sciences*, 6(2), 83-89.
- Qin, D., Hu, Y., ve Li, X. (2021). Waste glass utilization in cement-based materials for sustainable construction: A review. *Crystals*, 11(6), 710.
- Shafabakhsh, G., ve Sajed, Y. (2014). Investigation of dynamic behavior of hot mix asphalt containing waste materials; case study: Glass cullet. *Case Studies in Construction Materials*, 1, 96-103.
- Simone, A., Mazzotta, F., Eskandarsefat, S., Sangiorgi, C., Vignali, V., Lantieri, C., ve Dondi, G. (2019). Experimental application of waste glass powder filler in recycled dense-graded asphalt mixtures. *Road Materials and Pavement Design*, 20(3), 592-607.
- Tahmoorian, F., Samali, B., Yeaman, J., ve Crabb, R. (2018). The use of glass to optimize bitumen absorption of hot mix asphalt containing recycled construction aggregates. *Materials*, 11(7), 1053.
- Tian, H., Xu, R., Canadell, J. G., Thompson, R. L., Winiwarter, W., Suntharalingam, P., . . . Janssens-Maenhout, G. (2020). A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature*, 586(7828), 248-256.
- Tushar, Q., Salehi, S., Santos, J., Zhang, G., Bhuiyan, M. A., Arashpour, M., ve Giustozzi, F. (2023). Application of recycled crushed glass in road pavements and pipeline bedding: An integrated environmental evaluation using LCA. *Science of the Total Environment*, 881, 163488.
- Varol, H. (2023). Atık Cam Tozunun Bitümlü Sıcak Karışımlarda Filler Olarak Değerlendirilmesi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13(1), 29-33.
- Wang, F., Hoff, I., Yang, F., Wu, S., Xie, J., Li, N., ve Zhang, L. (2021). Comparative assessments for environmental impacts from three advanced asphalt pavement construction cases. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126659.

Yang, R. (2014). Development of a pavement life cycle assessment tool utilizing regional data and introducing an asphalt binder model.

Zarei, M., Rahmani, Z., Zahedi, M., ve Nasrollahi, M. (2020). Technical, economic, and environmental investigation of the effects of rubber powder additive on asphalt mixtures. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 146(1), 04019039.

Zhang, Y., Luo, W., Wang, J., Wang, Y., Xu, Y., ve Xiao, J. (2019). A review of life cycle assessment of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 209, 115-125.

SYNTHESIS OF BENZO[B]THIOPHENE-BASED ORGANIC COMPOUNDS AND THEIR HYDRAZINE ELECTROOXIDATION PERFORMANCE AS AN ANODE CATALYST

Omruye OZOK ARICI^{1*}, Sefika KAYA², Aykut CAGLAR³, Hilal KIVRAK⁴, Arif KIVRAK⁵

¹ Department of Biomedical Engineering, Faculty of Engineering and Architectural Sciences, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir-Türkiye, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-4164-8650>

² Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Architectural Sciences, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir-Türkiye, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-8277-4365>

³ Central Research Laboratory, Bartın University, Bartın-Türkiye, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-0681-1096>

⁴ Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Architectural Sciences, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir-Türkiye, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-8001-7854>

⁵ Department of Chemistry, Faculty of Sciences and Arts, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir-Türkiye, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-4770-2686>

Keywords	Abstract
Energy, Fuel cell, Hydrazine, Benzothiophene, Palladium	<i>In this study, 3-iodo-2-(p-tolyl)benzo[b]thiophene (4C) is synthesized by using Sonagashira coupling reactions and electrophilic cyclization reactions. Electrochemical measurements have been performed using electrochemical methods such as cyclic voltammetry (CV), chronoamperometry (CA) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) in the environment of 1 M KOH + 0.5M N₂H₄ solution. The CV results obtained showed that 4C catalyst promoted the generation of the best current (15.40 mA/cm²), and EIS results confirmed that electrode modified with the same derivative presented the lowest charge transfer resistance. Taken together, these results suggest that 4C organocatalyst could be used as an anode efficient catalyst in hydrazine (N₂H₄) fuel cells.</i>

BENZO[B]TİYOFEN BAZLI ORGANİK BİLEŞİKLERİN SENTEZİ VE ANOT KATALİZÖRÜ OLARAK HİDRAZİN ELEKTROOKSİDASYON PERFORMANSI

Anahtar Kelimeler	Öz
Enerji, Yakıt hücresi, Hidrazin, Benzotiyofen, Paladyum	<i>Bu çalışmada Sonagashira bağlanma reaksiyonları ve elektrofilik siklizasyon reaksiyonları kullanılarak 3-iodo-2-(p-tolil)benzo[b]tiyofen (4C) sentezlendi. Elektrokimyasal ölçümler, 1 M KOH + 0,5M N₂H₄ çözeltisi ortamında, döngüsel voltametri (CV), kronoamperometri (CA), elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) gibi elektrokimyasal yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen CV sonuçları, 4C katalizörünün en iyi akımın (15.40 mA/cm²) üretimini desteklediğini gösterdi ve EIS sonuçları, aynı türevle modifiye edilen elektrotun en düşük yük transfer direncine sahip olduğunu göstermektedir. Birlikte ele alındığında, bu sonuçlar 4C organik katalizörünün hidrazin (N₂H₄) yakıt hücrelerinde anot açısından verimli bir katalizör olarak kullanılabileceğini göstermektedir.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 15.02.2024	Submission Date : 15.02.2024
Kabul Tarihi : 14.06.2024	Accepted Date : 14.06.2024

* Sorumlu yazar: o.ozok@hotmail.com
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1437602>

1. Introduction

Energy affects all aspects of our modern life (Demirbas, Sahin-Demirbas and Hilal Demirbas, 2004). Fossil fuels (such as oil, natural gas and coal) are the main energy sources all over the world in the last century Park, Lee and Kim, 2013). However, due to the growing world population and industry, the need for energy is increasing, and therefore alternative energy sources

are needed to meet the energy needs. Modern electrical power generation relies on non-renewable resources. These days, new, efficient, cheap and small-scale renewable energy production options are more preferred.

Nowadays the renewable energy sources these days, fuel cells (Kivrak, Can, Duru and Sahin, 2014) organic solar cells (Yang and Forrest, 2008) and batteries (Clarke and Durrant, 2010) are at the top of the list as



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/>).

clean energy sources. Among these, fuel cell applications have come to the fore recently due to environmental pollution and the need for sustainable energy (Shi, Huo, Esan, An and Zhao, 2021; Wang, Li and Fooladi, 2021). Fuel cells are preferred today due to their features such as low pollution, low noise and high energy efficiency (Peng, Chen, Peng and Marefati, 2020; Wang, Chen, Mishler, Cho and Adroher, 2011). Proton exchange membrane fuel cells have been preferred in liquid fuel cell applications because they have disadvantages such as hydrogen production, storage and transportation (Khoo et al., 2021; Huang and Li, 2015). Therefore, nowadays, scientists have focused on liquid fuels because of their ease of use and high energy efficiency (Caglar and Kivrak 2019; Abdullah, Kamarudin, Hasran, Masdar and Daud, 2014).

Hydrazine (N_2H_4) is preferred in fuel cells today due to its high hydrogen content and advantages such as high negative electrooxidation potential and zero CO_2 emission with oxygen as an oxidizer (Feng et al., 2019). The reason for the need for modified electrodes in the fuel cell; the kinetic oxidation of hydrazine is difficult (Wang, Wan and Zhang, 2010; Ding et al., 2019) reported that prepared MnO/NAC catalyst exhibits high catalytic activity and showed extraordinary stability also after 3000 cycles in hydrazine electrooxidation reaction. Besides, (Wang et al., 2019), notified that P-Cu_xNi_y/C catalysts were prepared by a high-temperature phosphating process for hydrazine electrooxidation, and among the designed catalysts, P-Cu₂Ni/C exhibited the best stability and electrocatalytic activity. Apart from these catalysts, the maximum peak values of metalbased catalysts for hydrazine electrooxidation reaction compiled from the literature are given in Table 1. Today, organic molecules are preferred as catalysts in materials science because they have very important advantages such as flexibility, low molecular weight, low charge transfer resistance and high electrochemical stability. Because of the advantages of organic molecules, scientists focused on this topic (Peumans, Yakimov and Forrest, 2003). It was reported that the organic catalyst synthesized by (Er, Ulas, Ozok, Kivrak and Kivrak, 2021). showed a very high performance for hydrazine electrooxidation by showing a current of 3.22 mA/cm² and this organic catalyst showed the lowest charge transfer resistance. As a result, they developed that organic materials can be used instead of expensive metal catalysts as anode catalysts in N_2H_4 fuel cells.

Table 1. Maximum current density for N_2H_4 electrooxidation reported in the literature.

Catalyst	Preparation	Maximum Peak (mA*cm ⁻²)	Reference
MnO/N-C	dope	6.30	(Ding et al., 2019) (Chen, Jiang, Wang, Chen and Feng, 2016)
AuPd	co-	9.57	(Zhao, Sun, Chen,
DANCs	reduction	8.13	Huang, and Lu,
Co@NM	deposition	2.88	2019)
NCS	dope		(Cazetta, Zhang, Silva, Almeida and Asefa, 2018).
Organic compound	Synthesis	4.95	(Er, et al., 2021)
4C	Synthesis	15.40	This work

Heterocyclic molecules have wide applications in materials science (Cho, Neuenswander, Lushington and Larock, 2019). Thiophenes, benzothiophenes, indoles, furans, pyrroles, pyridines are member of known heteroaromatic compounds (Figure 1). Benzothiophene derivatives constitute an important class of very important heteroaromatic compounds. They show a lot of biological behaviors such as antitumor, analgesic, antibacterial, antiparasitic, antipyretic (Algso and Kivrak 2019; Keri et al., 2017). Benzothiophene derivatives have also been used in organic materials due to their low molecular weight and greater flexibility in organic solar cells (Morimoto et al., 2018) and transistors (Guo et al., 2018). Because of their advantages, new organic materials containing (O, S and N) have been designed and synthesized for renewable energy generation.

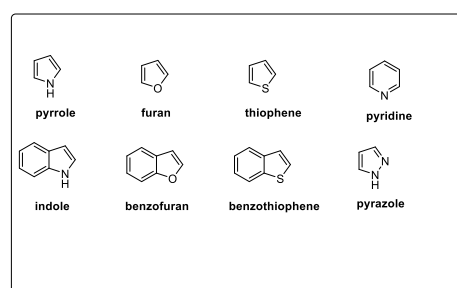


Figure 1. Some Examples of Heteroaromatic Compounds

Our study consists of two parts: organic synthesis and hydrazine electro-oxidation. In the first part, benzothiophene derivatives were designed and synthesized using sonagashira reaction and electrophilic cyclization reaction. In the second part, we aimed to design and investigate synthesized organic

catalysts as a new organic anode catalyst for the oxidation of hydrazine in fuel cells. (CV), spectroscopy (EIS) and (CA) methods were used for electrochemical measurements.

2. Material and Methods

2.1. Synthesis of organic catalysts

General Procedure for the synthesis of methyl (2-(aryl/alkyl-ethynyl) phenyl) sulfane 3: To a solution of 2-iodo thioanisole (1 eq) in Et₃N (15 mL) and THF (10 mL) was added alkyne (1.2 eq), Pd(PPh₃)₂Cl₂ (2%), and CuI (1%) argon atmosphere. The mixture was stirred at room temperature (room) overnight. After the starting compound was completely consumed, the mixture was extracted and the organic phase was dried with anhydrous MgSO₄. After filtration, the solvent was evaporated under high pressure and the residue was purified by column chromatography using the Hexane solvent system to give 3 (Figure 2).

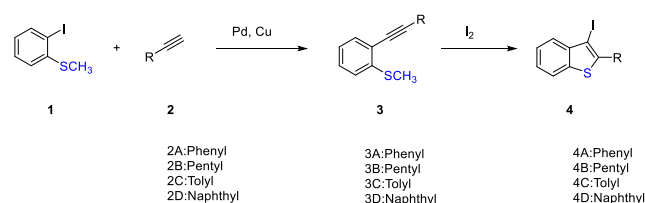


Figure 2. Synthesis of 3-iodo-benzothiophene Derivatives 4A-D

Methyl(2-(phenylethynyl)phenyl)sulfane (3A): 2-Iodothioanisole (4 mmole), phenylacetylene (4.8 mmole), PdCl₂(PPh₃)₂ (0.33 mmole), CuI (0.017 mmole), THF (10 mL) and Et₃N (15 mL) were employed to afford 880 g of the desired compound as yellow color, yield 92%; Solvent: Hexane. The spectral data have been previously reported for this compound. (Er et al., 2021).

(2-(hept-1-yn-1-yl)phenyl)(methyl)sulfane (3B): 2-Iodothioanisole (4 mmole), 1-heptyne (4.8 mmole), PdCl₂(PPh₃)₂ (0.33 mmole), CuI (0.017 mmole), THF (10 mL) and Et₃N (15 mL) were employed to afford 825 mg of the desired compound as a brown color, yield 94%; Solvent: Hexane/EtOAc (100/1); The spectral data have been previously reported for this compound. (Er et al., 2021).

Methyl(2-(p-tolyethynyl)phenyl)sulfane (3C): 2-Iodothioanisole (4 mmole), 4-ethynyltoluene (9.6 mmole), PdCl₂(PPh₃)₂ (0.33 mmole), CuI (0.017 mmole), THF (10 mL) and Et₃N (15 mL) were employed to afford 790 mg of the desired compound as a yellow color, yield 88%; Solvent: Hexane/EtOAc

(100/1). The spectral data have been previously reported for this compound. (Er et al., 2021).

Methyl(2-(naphthalen-1-ylethynyl)phenyl)sulfane (3D): 2-Iodothioanisole (4 mmole), 1-ethynyl naphthalene (4.8 mmole), PdCl₂(PPh₃)₂ (0.33 mmole), CuI (0.017 mmole), THF (10 mL), and Et₃N (15 mL) were employed to afford 790 mg of the desired compound as a white, yield 72%; Solvent: Hexane/EtOAc (100/1). The spectral data have been previously reported for this compound (Er et al., 2021).

General Procedure for the synthesis of 3-iodo-2-aryl/alkyl-benzo[b]thiophene (4): To a solution of methyl(2-(aryl/alkyl-ethynyl)phenyl)sulfane 3 in 20 mL of DCM was added molecular iodine (2 eq.) under argon atmosphere. The mixture was stirred at rt for 3 hours. After the starting material was completely completed, the mixture was extracted into DCM and the organic phase was dried over anhydrous MgSO₄. After filtration, the residue was purified by column chromatography using Hexane/EtOAc to give (4).

3-Iodo-2-phenylbenzo[b]thiophene 4A: 3A (3.4 mmole), DCM (20 mL), I₂ (6.8 mmole) were employed to afford 965 mg of the desired compound, yield 86%; Solvent: Hexane; The spectral data have been previously reported for this compound (Ozok, Kavak, Er, Kivrak and Kivrak, 2020).

3-Iodo-2-pentylbenzo[b]thiophene 4B: 3B (4 mmole), DCM (20 mL), I₂ (8 mmole) were employed to afford 1.7 g of the desired compound, yield 95%; Solvent: Hexane. The spectral data have been previously reported for this compound (Ozok et al., 2020).

3-iodo-2-(p-tolyl)benzo[b]thiophene 4C: 3C (3.2 mmole), DCM (20 mL), I₂ (6.4 mmole) were employed to afford 902 mg of the desired compound, yield 79%; Solvent: Hexane. The spectral data have been previously reported for this compound (Ozok et al., 2020).

3-Iodo-2-(naphthalen-1-yl)benzo[b]thiophene (4D): 3D (2.7 mmole), DCM (20 mL), I₂ (5.4 mmole) were employed to afford 746 mg of the desired compound, yield 75%; Solvent: Hexane. The spectral data have been previously reported for this compound (Ozok et al., 2020).

2.2. Electrochemical measurements

Electrochemical measurements were implemented employing the CHI 660E potentiostat device to determine the glucose electrooxidation activities of the catalysts. CV, CA, and EIS measurements were performed in a three-electrode system consisting of glassy carbon electrode (working electrode), Pt wire (counter electrode), and Ag/AgCl (reference electrode) in 1 M KOH + 1 M N₂H₄ solution. The electrooxidation

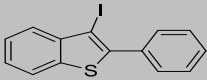
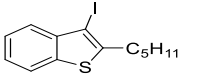
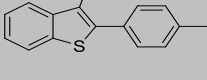
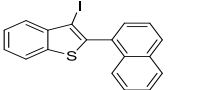
activities of the catalysts were determined via CV at 50 mV/s at the potential range of -0.6-0.8 V. CA measurements for the stability of 4C catalyst was performed at 0.0, 0.2, 0.4 V, 0.6 and 0.8V potentials at 1000 s. The electrochemical resistance of this catalyst was investigated by EIS at 316 kHz-0.046 Hz frequency and 5 mV amplitude.

3. Results and Discussion

3.1. Synthesis

The Sonogashira coupling reaction is one of the most important reactions in organic chemistry that allows the formation of new c-c bonds. In the first part, 2-iodothiyanisol (**1**) was allowed to react with primary alkynes (**2**) in the presence of Pd catalyst at rt under inert atmosphere and intermediate (**3**) was obtained with high yields. In this step, our 3D organic catalyst was synthesized with the highest efficiency of 94%. In the next step, electrophilic cyclization reaction was used in iodine medium and derivatives (**4**) were synthesized. The yields of the isolated molecules vary between 75% and 95% (Table 2).

Table 2. Yields of 3-iodo-benzothiophene Derivatives 4A-D.

ENTRY	PRODUCT	YIELD
1		4A 86%
2		4B 95%
3		4C 78%
4		4D 75%

3.2. Electrochemical results

The (heo) activity of 4A-D organic catalysts was investigated by CV analysis. CV measurements were taken in 1 M KOH and 1 M KOH + 0.5 M N₂H₄ solutions in the potential range (0.0 V - 0.8 V). Since no oxidation peak was observed in N₂H₄ measurements, organocatalysts were evaluated based on total current. (Figure 3). In heo, 15.406 mA/cm² was determined as the **4C** catalyst, which showed the highest current performance among organocatalysts (Table 3).

In Figure 3b, it was seen that the current intensity of hydrazine electrooxidation was due to the different chemical structures of the benzothiophene derivatives. The highest heo current is the **4C** derivative to which the tolyl primary alkyne is attached. The CV stability of the **4C** catalyst was taken at potentials of 0.0 V to 0.8 V in 1 M KOH + 0.5 M N₂H₄ solution. As mentioned above, the highest heo current obtained from CV results was obtained from (4C). In addition, the highest stability was obtained at 4C. It has been observed that the presence of tolyl groups in the chemical structure increases electrooxidation activity and stability.

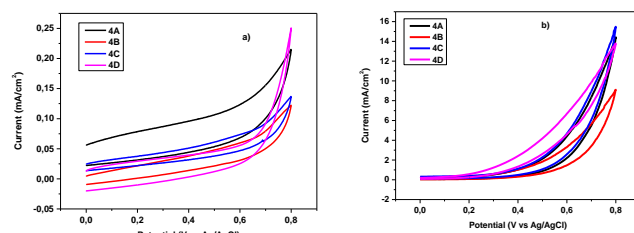


Figure 3. CV results of organocatalysts 4(A-D) in a) 1 M KOH and b) 1 M KOH + 0.5 M N₂H₄

Table 3. N₂H₄ electrochemical results of organocatalysts

Catalyst	Total Current of KOH, mA/cm ²	Total Current of N ₂ H ₄ , mA/cm ²	Normal Current, mA/cm ²
4A	0.215	14.375	14.160
4B	0.121	9.136	9.015
4C	0.137	15.406	15.269
4D	0.251	13.755	13.504

Chronoamperometry curves can be used to determine the stability and catalytic activity of electrocatalysts (Kivrak et al., 2014). For this purpose, CA measurements were performed in 1 M KOH + 1 M N₂H₄ solution at different potential values (0.0, 0.2, 0.4, 0.6, and 0.8 V) in 1000 seconds (Figure 4a). Since the 4C organocatalyst exhibited greater long-term stability and the highest current, it was measured to have higher activity among other catalysts according to electrical distribution values (Figure 4b). These results showed the best stable structure of the 4C organocatalyst at 0.8V for a long time.

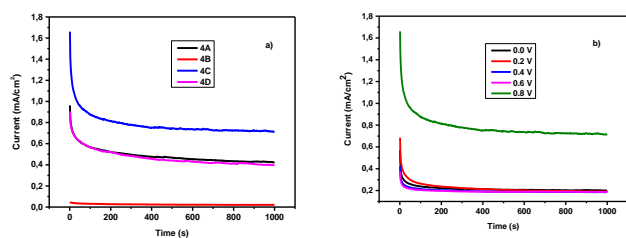


Figure 4 a) CA Results of Organocatalysts at 0.8 V, b) CA Analysis of Organocatalyst 4C.

EIS measurements are often used to calculate electrocatalytic resistance, with the diameter of the circle decreasing as resistance increases (Sahin, Duzenli and Kivrak, 2016). Figure 5a shows plotted Nyquist Plots of 4C catalyst at 0.0-0.2-0.4-0.6-0.8V potentials. Figure 5b also shows the comparison of EIS results for organocatalysts at 0.8 V. Figure 5c shows that the transfer resistor load is $4C > 4D > 4B > 4A$. The electrocatalytic activities of the catalysts are determined by relating the diameter of these semicircles to the charge transfer resistance (Ulas, Caglar, Sahin and Kivrak, 2018). The charge transfer resistance (R_{ct}) values of GCE electrode modified with 4C in 0.8 V (2747 Ω) > 0.6 V (5102 Ω) > -0.0 V (5203 Ω) > -0.2 V (5408 Ω), > 0.4 V (5825 Ω), different potentials was found from the equivalent circuit model. Since 0.8 V potential has the lowest semicircular shape and R_{ct} , it has the highest carrier transfer performance compared to other potentials.

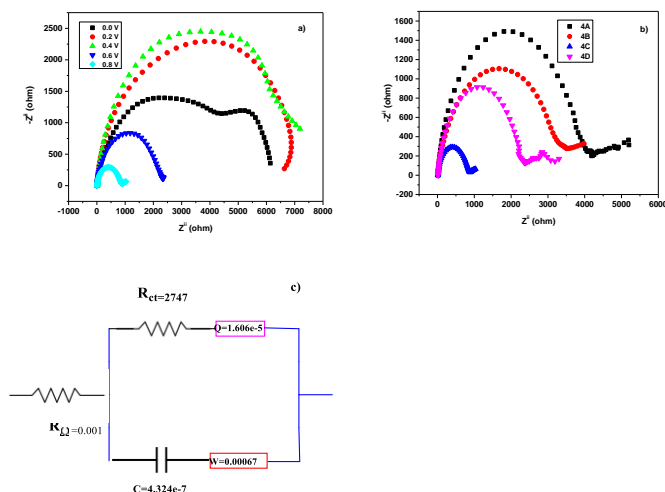


Figure 5. Nyquist Graph Obtained in 1M KOH + 0.5 M N_2H_4 Solution a) 4C Catalyst Different Potentials and b) Compared to All Other Organocatalysts at 0.8 V in 1 M KOH + 0.5 M N_2H_4 , c) The Charge Transfer Resistance (R_{ct}) Values of 4C Electrode.

As a result, the 4C electrocatalyst exhibited the highest electrocatalytic activity when compared to

organocatalysts. When the results were examined, it was seen that CV and CA were compatible with the results.

5. Conclusions

This study consists of two parts. The first part is the synthesis of organic-based catalysts. In the first step of the synthesis, new C-C bonds were formed using the Sonogashira Coupling reaction under Pd catalysis. In the next step, 3-iodobenzothiophene derivatives were synthesized and characterized using electrophilic cyclization reactions. The second part is testing the hydrazine electrooxidation of catalysts. Electrochemical measurements were made by (CV), (CA) and (EIS) in 1 M KOH + 0.5 M N_2H_4 solution. 4C (15.40 mA/cm^2) showed activity as the highest performance organic base in hydrazine electrooxidation. In addition, 4C is the organocatalyst with long-term stability and highest current. It has been found that a metal-free organic molecule shows a high current compared to studies in the literature. In conclusion, the 4C benzothiophene derivative may be promising as an alternative to expensive metals such as Pd and Pt.

Acknowledgement

The authors thank to Eskişehir Osmangazi University BAP (Project No: FOA-2021-2203) for chemicals and solvents. The author (A. Kivrak) would like to acknowledge networking contribution by the COST Action CA17104 "New diagnostic and therapeutic tools against multidrug resistant tumours".

Author Contributions

In the study, Omrüye OZOK ARICI contributed to the literature review, writing the article, and interpreting the data. Şefika KAYA and Aykut ÇAGLAR contributed to the laboratory studies. Hilal KIVRAK and Arif KIVRAK contributed to the evaluation and analysis of the results.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest with any person/institution in the prepared article.

References

- Abdullah, S., Kamarudin, S.K., Hasran, U.A., Masdar, M.S. & Daud, W.R.W. (2014). Modeling and simulation of a direct ethanol fuel cell: An overview. *Journal of Power Sources*, 262, 401-406. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.03.105>
- Algo, M.A. & Kivrak, A. (2019). New strategy for the synthesis of 3-ethynyl-2-(thiophen-2-yl) benzo [b] thiophene derivatives. *Chemical Papers*, 73(4), 977-

985. doi: <https://doi.org/10.1007/s11696-018-0640-2>
- Caglar, A. & Kivrak, H. (2019). Highly active carbon nanotube supported PdAu alloy catalysts for ethanol electrooxidation in alkaline environment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(23), 11734-11743. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.118>
- Cazetta, A.L., Zhang, T., Silva, T.L., Almeida, V.C. & Asefa, T. (2018). Bone char-derived metal-free N-and S-co-doped nanoporous carbon and its efficient electrocatalytic activity for hydrazine oxidation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 225, 30-39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.11.050>
- Chen, L. X., Jiang, L. Y., Wang, A. J., Chen, Q. Y. & Feng, J. J. (2016). Simple synthesis of bimetallic AuPd dendritic alloyed nanocrystals with enhanced electrocatalytic performance for hydrazine oxidation reaction. *Electrochimica Acta*, 190, 872-878. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.12.151>
- Cho, C.H., Neuenswander, B., Lushington, G.H. & Larock, R.C. (2019). Solution-phase parallel synthesis of a multi-substituted benzo [b] thiophene library. *Journal of combinatorial chemistry*, 11(5), 900-906. doi: <https://doi.org/10.1021/cc9000604>
- Clarke, T.M. & Durrant, J.R. (2010). Charge photogeneration in organic solar cells. *Chemical reviews*, 110(11), 6736-6767. doi: <https://doi.org/10.1021/cr900271s>
- Demirbas, A., Sahin-Demirbas, A. & Hilal Demirbas, A. (2004). Global energy sources, energy usage, and future developments. *Energy Sources*, 26(3), 191-204. doi: <https://doi.org/10.1080/00908310490256518>
- Ding, J., Kannan, P., Wang, P., Ji, S., Wang, H., Liu, Q., Gai, H., Liu, F. & Wang, R. (2019). Synthesis of nitrogen-doped MnO/carbon network as an advanced catalyst for direct hydrazine fuel cells. *Journal of Power Sources*, 413, 209-215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.12.050>
- Er, O.F., Ulas, B., Ozok, O., Kivrak, A. & Kivrak, H. (2021). Design of 2-(4-(2-pentylbenzo [b] thiophen-3-yl) benzylidene) malononitrile based remarkable organic catalyst towards hydrazine electrooxidation. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 888, 115218. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2021.115218>
- Feng, Z., Li, D., Wang, L., Sun, Q., Lu, P., Xing, P. & An, M. (2019). In situ grown nanosheet NiZn alloy on Ni foam for high performance hydrazine electrooxidation. *Electrochimica Acta*, 304, 275-281. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.03.017>
- Guo, S., He, Y., Murtaza, I., Tan, J., Pan, J., Guo, Y., Zhu, Y., He, Y. & Meng, H. (2018). Alkoxy substituted [1] benzothieno [3, 2-b][1] benzothiophene derivative with improved performance in organic thin film transistors. *Organic Electronics*, 56, 68-75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2018.02.003>
- Huang, W.T. & Li, Y. (2015). Electrical characteristic fluctuation of 16-nm-gate trapezoidal bulk FinFET devices with fixed top-fin width induced by random discrete dopants. *Nanoscale research letters*, 10(1), 1-8. doi: <https://doi.org/10.1007/s12633-023-02835-3>
- Keri RS, Chand K, Budagumpi S, Somappa SB, Patil SA, & Nagaraja BM. (2017). An overview of benzo[b]thiophene-based medicinal chemistry. *Eur J Med Chem*. 138:1002-1033. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.07.038>
- Khoo, K.S., Chia, W.Y., Wang, K., Chang, C.K., Leong, H.Y., Maaris, M.N.B. & Show, P.L. (2021). Development of proton-exchange membrane fuel cell with ionic liquid technology. *Science of The Total Environment*, 793, 148705. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148705>
- Kivrak, H., Can, M., Duru, H. & Sahin, O. (2014). Methanol electrooxidation study on mesoporous silica supported Pt-Co direct methanol fuel cell anode. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 12(1), 369-375. doi: <https://doi.org/10.1515/ijcre-2014-0051>
- Morimoto, M., Takagi, Y., Hioki, K., Nagasaka, T., Sotome, H., Ito, S., Miyasaka, H. & Irie, M. (2018). A turn-on mode fluorescent diarylethene: solvatochromism of fluorescence. *Dyes and Pigments*, 153, 144-149. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.02.016>
- Park, M., Lee, T. & Kim, B.S. (2013). Covalent functionalization based heteroatom doped graphene nanosheet as a metal-free electrocatalyst for oxygen reduction reaction. *Nanoscale*, 5(24), 12255-12260. doi: <https://doi.org/10.1039/C3NR03581F>
- Peng, M.Y.P., Chen, C., Peng, X. & Marefati, M. (2020). Energy and exergy analysis of a new combined concentrating solar collector, solid oxide fuel cell, and steam turbine CCHP system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 39, 100713. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100713>

- Peumans, P., Yakimov, A. & Forrest, S.R. (2003). Small molecular weight organic thin-film photodetectors and solar cells. *Journal of Applied Physics*, 93(7), 3693-3723. doi: <https://doi.org/10.1063/1.1534621>
- Sahin, O., Duzenli, D. & Kivrak, H. (2016). An ethanol electrooxidation study on carbon-supported Pt-Ru nanoparticles for direct ethanol fuel cells. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(5), 628-634. doi: <https://doi.org/10.1080/15567036.2013.809391>
- Shi, X., Huo, X., Esan, O.C., An, L. & Zhao, T.S. (2021). Performance characteristics of a liquid e-fuel cell. *Applied Energy*, 297, 117145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117145>
- Ozok, O., Kavak, E., Er, O.F., Kivrak, H. & Kivrak, A. (2020). Novel benzothiophene based catalyst with enhanced activity for glucose electrooxidation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(53), 28706-28715. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.07.195>
- Ulas, B., Caglar, A., Sahin, O. & Kivrak, H. (2018). Composition dependent activity of PdAgNi alloy catalysts for formic acid electrooxidation. *Journal of colloid and interface science*, 532, 47-57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.07.120>
- Wang, W., Wang, Y., Liu, S., Yahia, M., Dong, Y. & Lei, Z. (2019). Carbon-supported phosphatized CuNi nanoparticle catalysts for hydrazine electrooxidation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(21), 10637-10645. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.005>
- Wang, S., Li, W. & Fooladi, H. (2021). Performance evaluation of a polygeneration system based on fuel cell technology and solar photovoltaic and use of waste heat. *Sustainable Cities and Society*, 72, 103055. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103055>
- Wang, Y., Chen, K.S., Mishler, J., Cho, S.C. & Adroher, X.C. (2011). A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research. *Applied energy*, 88(4), 981-1007. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.09.030>
- Wang, Y., Wan, Y. & Zhang, D. (2010). Reduced graphene sheets modified glassy carbon electrode for electrocatalytic oxidation of hydrazine in alkaline media. *Electrochemistry Communications*, 12(2), 187-190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2009.11.019>
- Yang, F. & Forrest, S.R. (2008). Photocurrent generation in nanostructured organic solar cells. *ACS nano*, 2(5), 1022-1032. doi: <https://doi.org/10.1021/nn700447t>
- Zhao, A., Sun, H., Chen, L., Huang, Y. & Lu, X. (2019). Development of highly efficient and scalable free-standing electrodes for the fabrication of hydrazine-O₂ fuel cell. *Materials Research Express*, 6(8), 085533. doi: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab242f>

A RULE-BASED APPROACH USING THE ROUGH SET ON COVID-19 DATARasim ÇEKİK^{1*}¹ Computer Engineering Department, Engineering Faculty, Şırnak University, 73000, Şırnak, Türkiye,
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-7820-413X>

Keywords	Abstract
COVID-19 Sentiment Analysis Rough Set Text Mining	<i>The COVID-19 pandemic has not only caused loss of life but also significantly affected people's emotional state. These emotional impacts have had serious consequences on societies and economies around the world. In order to repair these devastations in society, it is important to analyse these emotional effects in depth. In this study, the effects of the pandemic on human emotions are analysed using soft computing techniques. A rule-based approach is proposed for the analysis with the help of a rough set. The proposed method is based on two main components. The first one is the process of selecting the optimal subset (OFS) from the whole feature set with the help of k best known feature selection approaches. The second component involves the use of rough clustering methods to generate rules on the selected feature subset OFS. In the study, the first real data set called "Real World Concern Dataset", which is obtained from emotional responses to COVID-19, was used. The dataset consists of 5,000 items (2,500 short + 2,500 long). In the experimental studies, the proposed approach was tested with both labelled and unlabelled data, and it was observed that effective results were obtained with an accuracy rate of over 85%. It was also found that people were highly concerned about the future due to the pandemic.</i>

COVID-19 VERİLERİ ÜZERİNDE KABA KÜME KULLANARAK KURAL TABANLI BİR YAKLAŞIMLA DUYGU ANALİZİ

Anahtar Kelimeler	Özet
COVID-19, Kaba Kümeler, Duygu Analizi, Metin Madenciliği	<i>COVID-19 salgını, sadece can kaybına neden olmakla kalmayıp aynı zamanda insanların duygusal durumlarını da önemli ölçüde etkilemiştir. Bu duygusal etkiler, dünya çapındaki toplumlar ve ekonomiler üzerinde ciddi sonuçlar doğurmuştur. Toplumda meydana gelen bu yıkımların onarılabilmesi için, bu duygusal etkilerin derinlemesine incelenmesi önemlidir. Bu çalışmada, salgının insan duyguları üzerindeki etkileri, yumuşak hesaplama teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz için kaba küme yardımıyla kural tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yöntem, iki temel bileşen üzerine kurulmuştur. Birincisi, k tane en iyi bilinen öznitelik seçme yaklaşımı yardımı ile tüm özellik kümesinden en uygun alt küme (OFS) seçme işlemidir. İkinci bileşen ise, seçilen özellik alt kümesi OFS üzerinde kurallar oluşturmak için kaba kümeleme yöntemlerinin kullanılmasını içermektedir. Çalışmada, COVID-19'a verilen duygusal tepkilerden elde edilen "Gerçek Dünya Endişe Veri Kümesi" adlı ilk elverişli gerçek veri kümesi kullanılmıştır. Veri kümesi 5.000 parçadan (2.500 kısa + 2.500 uzun) oluşmaktadır. Deneysel çalışmalarda, önerilen yaklaşımın hem etiketli hem de etiketsiz verilerle test edildiği ve %85'in üzerinde bir doğruluk oranıyla etkili sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, insanların salgın nedeniyle geleceğe yönelik yüksek oranda endişe duydukları belirlenmiştir.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 15.01.2024

Kabul Tarihi : 16.05.2024

Research Article

Submission Date : 15.01.2024

Accepted Date : 16.05.2024

* Sorumlu yazar: rasimcekik@sirnak.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1420509>**1. Introduction**

The COVID-19 epidemic has affected people in almost every aspect such as economic, cultural, sociological,

psychological, quality of life, as well as human health. The spread of its effects over such a wide area requires evaluating the COVID-19 epidemic from different

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/>).

perspectives and from many aspects. Technological developments such as artificial intelligence and soft computing have provided ease of analysis and evaluation in many areas. Analyze and evaluate the emotions that people experience and feel about COVID-19 by using these possibilities of technology; in the future, it can provide a very important contribution to providing solutions to social problems such as increasing the economic welfare of the society, repairing its cultural wear, increasing the quality of life and questioning its psychological infrastructure. Therefore, successfully and effectively understanding and analyzing the emotions that people feel during the COVID-19 epidemic is a valuable and mandatory task in terms of public health. The primary objective of this research is to elucidate the ramifications of the COVID-19 pandemic on human emotions through the utilization of text mining methodologies and soft computing techniques. Through rigorous analysis and interpretation of textual data, the study endeavors to shed light on the nuanced manifestations of emotional states amidst the unprecedented challenges posed by the pandemic. In doing so, it seeks to contribute to the broader understanding of the psychological impact of the COVID-19 outbreak on individuals and societies at large.

The rapid development of the Internet and its very active use have enabled people to express their feelings easily. Moreover, companies can quickly access people's comments and feelings about products and adjust their sales policies accordingly. While this situation spreads over a very wide area, it has also created a very suitable environment for people to express their feelings about COVID-19. However, the huge amount of data that needs to be analyzed has made it impossible to make manual assessments. This problem is tried to be minimized by using high processing power of computers and various data processing approaches. Sentiment analysis, which emerged as a result of these needs, has been. A subject of interest in the fields of natural language processing and machine learning. Sentiment analysis aims to categorize the written and expressed judgments about a subject, according to the content, into categories such as the author's emotion, generally positive, negative, or neutral (Pak, 2015). However, depending on the content of the text written or expressed, emotions can vary such as pain, sadness, joy, anxiety, and fear. Many studies have been conducted on this subject so far, and most of these studies have focused on the document-level emotion classification problem, where the emotion expressed in the document is assumed to be about a single object (B. Liu, 2010). While some of the techniques used for document-level classification were unsupervised learning methods, mostly supervised learning methods were used. Supervised learning methods create a model using previously collected

labeled data and classify new data according to this model (Aue & Gamon, 2005; Blitzer et al., 2007). Unsupervised methods (Turney, 2002) create a model without using any previously obtained labeled data and categorize the data according to the model. The absence of the desired amount of labeled data in each field represents an important problem in the field of sentiment analysis. In addition, the difficulty and cost of accessing labeled data is the main reason for this problem. Therefore, existing studies mostly focused on unlabeled data or tried to process unlabeled data using the few labeled data available.

Sentiment analysis can be considered as a text mining issue since it is a process on written documents. Basic operations such as preprocessing, feature extraction and feature selection in text mining are also valid processes for sentiment analysis. High dimensionality is one of the most common problems encountered in the analysis of text documents. The high dimensionality problem expresses the high feature space obtained by taking each term in the documents as a feature. One of the most effective and fast solutions offered to this problem is to select the subset that best represents the entire feature space within the entire feature set. Feature selection approaches are used for these operations.

When there is not enough data or inconsistent, repetitive and incomplete data, tools are needed to provide confidential and meaningful inferences from the data. At this point, Rough Sets is a mathematical soft computation tool that does this task very successfully. This success of Rough Sets has led to its use in a very wide area. The amount of missing and inconsistent data in the fields of text mining and its sub-title sentiment analysis is quite high. This has made the use of Rough Sets effective in this field. Within the scope of this study, it was tried to obtain the optimal feature set with the help of the most known k feature selection approach on labeled data. Then, a rule-based model was put forward by applying Rough Sets on this cluster, and according to this model, labeled and unlabeled data were analyzed according to the content.

2. Related Works

Sentiment analysis is the process of collecting and analyzing people's ideas, thoughts, and perceptions on various topics, products, news, and services. People's opinions can help companies working for commercial purposes, individuals who want to know about a subject, collect information and make decisions based on these ideas. However, the sentiment analysis and evaluation process is fraught with many challenges. These difficulties make it difficult to accurately interpret emotions and determine the appropriate emotion pole. This prompted researcher to analyze

texts and offer various methods to identify feelings/emotions (Acheampong et al., 2020; Garcia-Garcia et al., 2017; Sarsam et al., 2021; Zhang et al., 2019). Although people frequently express their emotions through writing, it can be difficult to determine the emotion of the written text. A single text, for example, could contain several emotions. Furthermore, some words can have multiple meanings that correspond to various emotions, making it difficult to identify emotion-carrying words or phrases in a given text. Grammatical errors, typos, sarcasm, or abbreviations in texts compiled from online media platforms are among the challenges researchers face when detecting emotional words. Furthermore, natural languages contain numerous metaphors, which can make capturing the true meaning of the text more difficult than expected. Another difficulty is determining the emotion or feeling in a text with idioms or proverbs. "Break a leg," for example, means "good luck" in English. The meanings of the idioms, however, cannot be deduced from the meanings of the words that comprise it. As a result, numerous studies have been published in the literature that use a dictionary and/or a list of keywords to determine the true meaning of idioms and proverbs (Ibrahim et al., 2015; Klebanov et al., 2013; Williams et al., 2015)

Sentiment analysis can be performed at three different levels: sentence, document, and aspect. It aims to classify the emotion expressed in each sentence at the sentence level. In this kind of approach, the first step is to decide if the sentence is subjective or objective. If the sentence is subjective, it expresses positive or negative opinions at Sentence Level. Moreover, documents or paragraphs are divided into sentences in sentence-level or phrase-level sentiment analysis, and the poles of each sentence are determined (Arulmurugan et al., 2019; Meena & Prabhakar, 2007). Document-level sentiment analysis attempts to extract general sentiment from extensive texts that contain a lot of noise and needless local terms. Document-level sentiment analysis is also referred to as sentiment classification. The biggest challenge in this type of sentiment classification is the need for the full context of semantic information to extract the semantic relationship from the statements contained in the documents. It also requires a deeper understanding of the complex internal structure of emotions and dependent words (S. Liu et al., 2020). For example, speed and cost are two semantic expressions in a review document about a computer, such as "the processor is high, but this product is very expensive". While the meaning expression about speed is directly in the sentence, the expression about cost is mentioned implicitly. In this case, the cost expression is more difficult to derive and requires extra processing. (Devi Sri Nandhini & Pradeep, 2020) devised a method to extract implicit aspects from documents based on the

frequency of coexistence of feature indicators and features, as well as the relationship between thought words and explicit aspects. Sentiment Analysis at the aspect-level (Schouten & Frasincar, 2015) is a subtask of Sentiment Analysis that focuses on determining the sentiment of a specific aspect or feature of a product, service, or entity. Unlike document-level, which analyzes the sentiment of a piece of text as a whole, aspect-level analyzes the sentiment of individual aspects of the entity, such as specific attributes or features. Aspect-level processing is carried out using natural language processing techniques such as named entity recognition, part-of-speech tagging, dependency parsing, and sentiment analysis algorithms. These techniques can assist in identifying the aspect or feature mentioned in the text, its sentiment polarity (positive, negative, or neutral), and the intensity of the expressed sentiment.

Measuring people's feelings and concerns regarding COVID-19 will be critical to understanding and dealing with the problem. For this reason, a lot of data about the epidemic has been collected. However, the dataset used in this study differs from others with some features. COVID-19 Real World Worry collection (RWW) presents a high-quality, real-text collection of COVID-19-related emotions and concerns, as well as preliminary findings on emotional linguistic correlates, subject models, and prediction tests. RWW is a ground truth dataset that uses a direct survey method to collect written descriptions of people as well as data on their sentiments and worries. As a result, the dataset no longer relies on third-party descriptions and can instead refer to self-reported feelings. Several research has been done to evaluate the epidemic's consequences. For example, (a) Coronavirus-related tweets have been collected since March 11, 2020, with an average of 4.4 million tweets per day (Banda et al., 2020). Tweets with keywords like "coronavirus" and "COVID-19" were collected using the Twitter streaming API. (b) Another Twitter collection of Coronavirus messages in many languages, including English, Spanish, and Indonesian, has been collected since January 22, 2020 (Chen et al., 2020).

3. Preliminaries and Background

In this section, basic information about the technology and approaches used in the background of the study is presented.

3.1. Text Mining and Sentiment Analysis

Text mining, also called text analytics, is an artificial intelligence technology that makes unstructured text in documents suitable for analysis or machine learning algorithms using natural language processing (ÇEKİK, 2022; ÇEKİK & Mahmut, 2023; Parlak & Uysal, 2020, 2023). Text mining, which is widely used in knowledge-

oriented organizations, is a review process that allows extracting new information from very large collections of texts or providing answers for specific research. Text mining, which derives information from written sources such as websites, books, e-mails, articles, and online news, organizes and structures data using advanced methodologies. This information can be used for descriptive, prescriptive, or predictive analytics by integrating it into databases, data warehouses, or business intelligence panels. Security, biomedicine, online media, sentiment analysis, commerce and marketing, digital humanities and computational sociology, scientific literature mining, and academic applications are only a few of the applications for text mining. Text mining tasks include text categorization, text clustering, concept or entity extraction, granular taxonomy modeling, sentiment analysis, entity connection model, and document summary.

There are a number of processes that text mining tasks have in common:

- Preprocessing
 - tokenization
 - removal of stop words
 - letter transformation
 - stemming
- Feature Extraction
- Feature Selection

Sentiment analysis is basically a text analysis and aims to determine the class (positive, negative and neutral) that the given text wants to express emotionally. Since sentiment analysis can be used in different fields and for different purposes, it is possible to see it in the literature with various approaches. For example, while general sentiment analysis is used for tasks where it is sufficient to assign a single sentiment class to the entire text, target-based sentiment analysis may be needed in cases where there is more than one sentiment in the text. As a result of the frequent occurrence of these and similar situations, the most commonly used sentiment analysis types can be stated as follows:

- Subjectivity/Objectivity Analysis
- General Sentiment Analysis
- Aspect Based Sentiment Analysis
- Fine-Grained Sentiment Analysis
- Emotion Detection

The primary goal of feature selection approaches is to solve the high dimensionality problem by selecting the characteristics with the highest uniqueness from all available features. For this purpose, there are approaches with different working mechanisms such as

filter, winding and embedded in the literature. However, in this study, these approaches were used when the filter approaches worked faster. Feature selection in such methods; It is accomplished by the use of functions based on statistical criteria such as feature distance, measure of dependency between features, or feature information. A score is calculated for each feature through these statistical functions, and The features with the highest ratings are selected to create the best feature subset (Cekik & Uysal, 2020; Chandrashekar & Sahin, 2014). In this study, the following filter feature approaches were used.

Information gain (IG): It is defined as the inverse of entropy, which expresses the disorder of a system. It is expressed statistically as follows:

$$IG(t) = - \sum_{i=1}^M P(C_i) \log P(C_i) + P(t) \sum_{i=1}^M P(C_i|t) \log P(C_i|t) + P(\bar{t}) \sum_{i=1}^M P(C_i|\bar{t}) \log P(C_i|\bar{t}) \quad (1)$$

Chi-square (Chi2): It is a statistical approach that investigates whether the relationship between two relationships is dependent. It is expressed statistically as follows:

$$CHI2(t, C) = \sum_{t \in \{0,1\}} \sum_{C \in \{0,1\}} \frac{(N_{t,C} - E_{t,C})^2}{E_{t,C}} \quad (2)$$

$$CHI2(t) = \sum_{i=1}^M P(C_i) * CHI2(t, C) \quad (3)$$

Gini index(GI) is a mathematical method offered as an alternative to IG and does not use entropy. Mathematically:

$$GI(t) = \sum_{i=1}^M P(t|C_i)^2 P(C_i|t)^2 \quad (4)$$

Deviation from poisson distribution (DP): It is a widely used approach for selecting effective words in the field of information retrieval and is derived from the Poisson distribution.

$$DP(t, C) = \frac{(a - \hat{a})^2}{\hat{a}} + \frac{(b - \hat{b})^2}{\hat{b}} + \frac{(c - \hat{c})^2}{\hat{c}} + \frac{(d - \hat{d})^2}{\hat{d}}$$

$$\begin{aligned} \hat{a} &= n(C)\{1 - \exp(-\mu)\} \\ \hat{b} &= n(C)\exp(-\mu) \\ \hat{c} &= n(\bar{C})\{1 - \exp(-\mu)\} \\ \hat{d} &= n(\bar{C})\exp(-\mu) \\ \mu &= \frac{F}{N} \end{aligned} \tag{5}$$

Distinguishing feature selector (DFS): It is an effective feature selection approach that has been put forward recently and is formulated as follows (Uysal & Gunal, 2012):

$$DFS(t) = \sum_{i=1}^M \frac{P(C_i|t)}{P(\bar{t}|C_i) + P(t|C_i) + 1} \tag{6}$$

3.2. Rough Set Theory

Pawlak's Rough Set Theory (RST) (Pawlak, 1998) a mathematical method that successfully extracts hidden patterns or patterns in data. RST organizes partial, inconsistent, and ambiguous datasets such that they can be evaluated. Although it is typically employed as an auxiliary process, it is capable of performing operations like as classification, pattern extraction, rule creation, dimension reduction, feature selection, and feature extraction without the usage of any other method. Below are brief explanations of the fundamental ideas of rough sets.

Let $S = (U, A, C)$ represents a decision table or information system, where $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ is the universal set of objects, A is a conditional attribute set, and C is a decision attribute set. For any subset of $T \subseteq A$ conditional attributes, the T- indiscernibility relationship, whose designation is $IND(T)$, is defined as follows:

$$IND(T) = \{(x_i, x_j) \in U^2 | \forall a \in T, a(x_i) = a(x_j)\} \tag{7}$$

Where, the equivalence classes of the T- indiscernibility relationship are expressed as $[x]_T$. Lower and Upper set approaches express two basic concepts in rough set.

The representations of the T-lower and T-upper approaches of the set X on any subset of $X \subseteq U$ objects and the specified subset of $T \subseteq A$ attributes are $\underline{T}X$ and $\overline{T}X$, respectively. Also, their definitions are as follows:

$$\begin{aligned} \underline{T}X &= \{x | [x]_T \subseteq X\}, \\ \overline{T}X &= \{x | [x]_T \cap X \neq \emptyset\} \end{aligned} \tag{8}$$

A representative illustration showing the relationship of RST concepts is given in Figure 1.

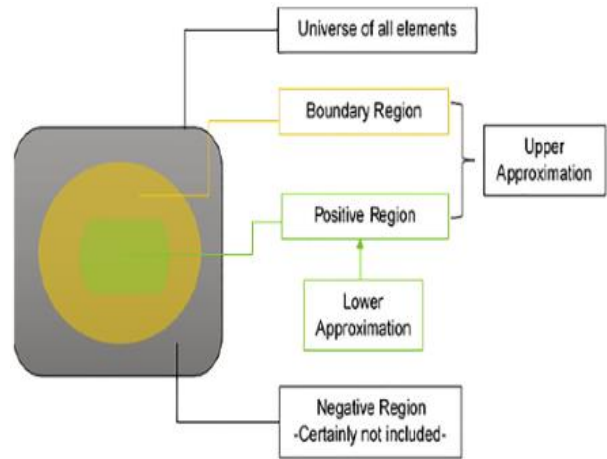


Figure 1. The regions and approximation sets in the RST.

4. Proposed Method

The proposed approach consists of two basic structures. One of them is the process of selecting a subset of the entire feature set with the help of the best-known k feature selection approach. The other basic structure is to obtain rules on the selected feature subset with the help of rough sets. Then, using these rules, sentiment analysis is performed on tagged and unlabeled COVID-19 data. The working principle of the proposed approach in Figure 2 is given below.

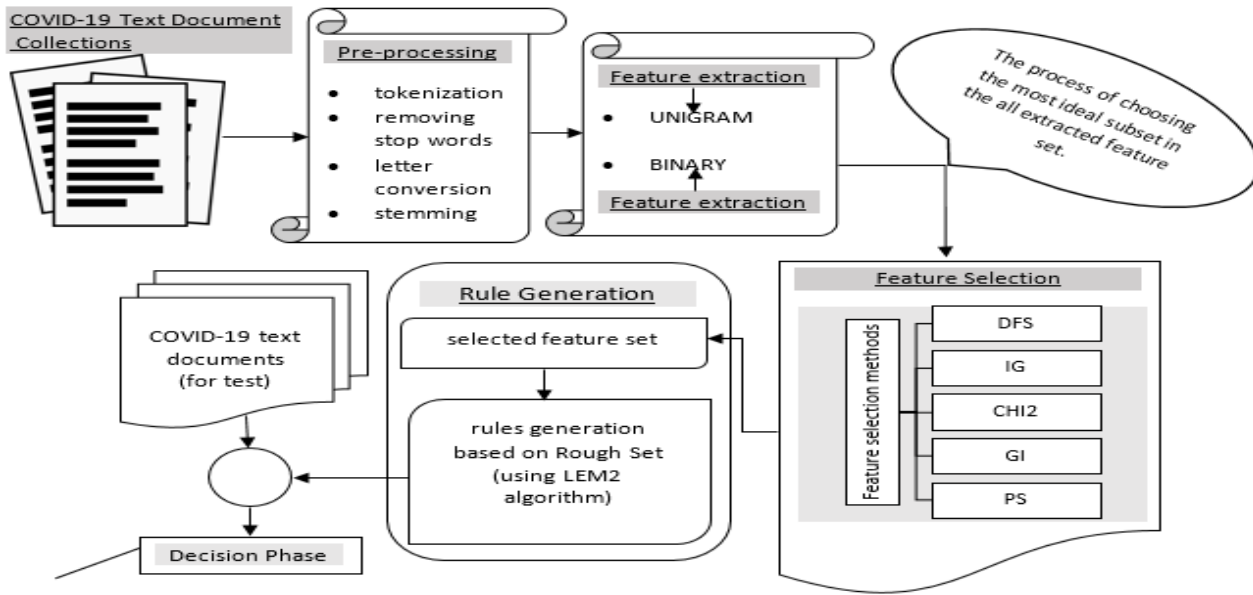


Figure 2. Working architecture of the proposed approach

In this study, the most well-known IG, CHI2, DFS, GI, and PS feature selection approaches in text mining were used. Each of these approaches separately selects top-n-size features. By taking the cluster combination of all selected top-n feature subsets, the Optimal Feature Set (OFS) is obtained to be presented to the rough set approach. The OFS equation is given below.

$$OFS = IG_{top-n} \cup CHI2_{top-n} \cup DFS_{top-n} \cup GI_{top-n} \cup PS_{top-n} \quad (9)$$

OFS refers to the columns in the decision information system/table for rough sets. Rules are obtained with the help of Rough Sets on the created information system. It utilized the ROSE 2 (Rough Set Data Explorer) system to derive the rules. ROSE 2 system uses LEM2 (Learning from Examples Module, version 2) (Stefanowski, 1998) algorithm to create rules. The LEM2 algorithm is a supervised learning technique that is used to construct rules from data and is based on the lower or upper approximation set of rough set theory (Grzymala-Busse, 2015). The algorithm operates at the (attribute, value) pair level. For each notion, a local coverage is calculated. The pseudocode of LEM2 (Grzymala-Busse, 1992; Stefanowski, 2001), is quoted:

LEM2

(INPUT: a set B,
 OUTPUT: a single local covering T of set B);
 BEGIN
 G := B;
 T := ∅;

```

WHILE G ≠ ∅
  BEGIN
    T := ∅;
    T(G) := {t|[t] ∩ G ≠ ∅};
    WHILE T = ∅ or [T] ⊄ B
      BEGIN
        select a pair t ∈ T(G) such that |[t] ∩ G| is max: if a tie occurs, select a pair t ∈ T(G) with the smallest cardinality of [t]; if another tie occurs, select first pair; T := T ∪ {t};
        G := [t] ∩ G;
        T(G) := {t|[t] ∩ G ≠ ∅};
        T(G) := T(G) - T;
      END
    FOR each t ∈ T DO
      IF T - {t} ⊆ B THEN T := T - {t};
    T := T ∪ {T};
    G := B - Uref[T];
  END
  FOR each T ∈ T DO
    IF Uset-T[S] = B; THEN T := T - {T};
  END
  
```

A cross-section learning from the LEM2 results obtained within the scope of this study is shown on Figure 3. Equation 10, which is a statistical approach on the rules obtained by the LEM2 algorithm, is used to decide the sentiments of the text.

Where $Similarity_{Rule}$ shows the similarity ratio of the test data to the rule. $Rule_{rayting}$ indicates the number of rules with similarity. In other words, a rule occurs for each case in the training data during the rule generation stage with the rough set. In this case, the same rules can be generated. This also means that the situation was used frequently and is important information. In order to determine which class a data belongs to, the similarity rates of the rules on a class basis are analysed. The data is included in the class with a high similarity rate. Pseudocode of the proposed approach:

ALGORITHM 1: Proposed Method

```

PROCEDURE Proposed_Method (Feature Size N)
BEGIN
select_best_feature(N) // using DFS, IG, CHI2, GI, PS

 $Similarity_{Rule} = \frac{Count(t_{rule} = t_{test})}{* \log_{10} Rule_{rayting}}$  (10)

OFS ← calculated_OFS(N)
generation_rules(OFS) // using rough set (LEM2) algorithm
j ← 1
WHILE j < size(test_data)
FOR i ← 1: size(rules)
similarity(i) =  $Count(t_{rule} = t_{test}) \log_{10} Rule_{rayting}$ 
END // for FOR
decision(j) = max (similarity)
++j
END // for WHILE
END // for BEGIN

```

```

# LEM2
# C:\Users\RSC\Desktop\Mahmut_Kaya\Criteria_main\Rose\Created_DataSet\F_50_ROSE_150.isf
# objects = 1677
# attributes = 150
# decision = D
# classes = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}
# Wed Oct 12 20:24:03 2022
# 184 s

rule 1. (A27 = 1) & (A102 = 0) & (A104 = 0) & (A114 = 0) & (A121 = 1) & (A123 = 0) => (D = 1); [1, 1, 1.33%, 100.00%][1, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
[(29), 0, 0, 0, 0, 0, 0]
rule 2. (A7 = 0) & (A19 = 1) & (A27 = 0) & (A36 = 0) & (A98 = 0) & (A102 = 0) & (A108 = 0) & (A119 = 1) & (A123 = 0) & (A124 = 0) => (D = 1); [5, 5, 6.67%, 100.00%][5, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
[(5, 12, 18, 56, 63), 0, 0, 0, 0, 0, 0]
rule 3. (A12 = 0) & (A14 = 1) & (A19 = 0) & (A102 = 0) & (A104 = 0) & (A119 = 0) & (A125 = 0) & (A129 = 0) => (D = 1); [2, 2, 2.67%, 100.00%][2, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
[(10, 34), 0, 0, 0, 0, 0, 0]
rule 4. (A1 = 0) & (A100 = 0) & (A102 = 0) & (A104 = 1) & (A107 = 0) & (A110 = 0) & (A111 = 0) & (A113 = 0) & (A114 = 0) & (A122 = 0) & (A125 = 0) & (A126 = 0) & (A129 = 0) => (D = 1); [5, 5, 6.67%, 100.00%][5, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
[(17, 42, 68, 69, 73), 0, 0, 0, 0, 0, 0]
rule 5. (A47 = 0) & (A98 = 0) & (A103 = 1) & (A104 = 0) & (A107 = 0) & (A118 = 0) & (A122 = 0) & (A129 = 1) & (A147 = 0) => (D = 1); [2, 2, 2.67%, 100.00%][2, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
[(25, 59), 0, 0, 0, 0, 0, 0]
rule 6. (A3 = 0) & (A7 = 0) & (A36 = 0) & (A44 = 1) & (A47 = 0) & (A106 = 0) & (A112 = 0) & (A113 = 0) & (A114 = 0) & (A119 = 0) & (A122 = 0) & (A123 = 0) => (D = 1); [1, 1, 1.33%, 100.00%][1, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
[(75), 0, 0, 0, 0, 0, 0]
rule 7. (A1 = 0) & (A119 = 0) & (A122 = 0) & (A127 = 0) & (A144 = 1) => (D = 1); [2, 2, 2.67%, 100.00%][2, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
[(17, 47), 0, 0, 0, 0, 0, 0]

```

Figure 3. A cross-section of LEM2 results on OFS obtained according to Top-50

5. Experimental Works

5.1. Data Collection

Measuring Emotions in the COVID-19 Real World Worry Dataset (RWWD) was used as the dataset in this study. The dataset presents the first basic real dataset of emotional responses to COVID-19. The Dataset consists of 5000 texts (2,500 short + 2,500 long texts) asking participants to express their feelings and express them in text. This dataset reports initial

findings for the RWWD, which examines people's emotions and concerns at a time when the impact of the COVID-19 pandemic is affecting the lives of all people living in the UK. Data were collected by Bennett K. (Kleinberg et al., 2020) on 6 and 7 April 2020, when the UK was under quarantine and deaths were rising. RWWD is a baseline fact dataset that obtains written emotion and anxiety data as well as people's other emotions using a direct survey method. As such, the dataset is not based on third-party disclosures, but may

Table 1. Results For Top-50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, and 1000

Feature Size	50/150	100/283	200/484	300/612	400/878
75	0.5467	0.5733	0.4933	0.5733	0.5867
150	0.7200	0.7600	0.7133	0.7267	0.7667
250	0.7920	0.8320	0.7800	0.8040	0.8240
400	0.8375	0.8775	0.8225	0.8350	0.8600
600	0.7183	0.7350	0.7050	0.7067	0.7200
700	0.6214	0.6343	0.6057	0.6114	0.6300
Feature Size	500/1047	600/1184	700/1289	800/1353	1000/1562
75	0.5067	0.4267	0.4533	0.5600	0.5333
150	0.7267	0.5800	0.7133	0.7600	0.7600
250	0.8080	0.6560	0.8040	0.8360	0.8400
400	0.8275	0.7050	0.8625	0.8875	0.8800
600	0.6933	0.6100	0.7267	0.7467	0.7450
700	0.6071	0.5386	0.6300	0.6471	0.6486

refer directly to self-reported emotions. Kleinberg et al. (2020) offered two versions of RWWD, each consisting of 2,500 English sentences portraying participants' genuine concerns about the Corona situation in the UK: Long RWWD with open-ended duration and wishing inscriptions encouraging participants to express their emotions as they feel. In the brief RWWD, the same people were asked to convey their sentiments in Tweet-sized language. Furthermore, this short RWWD was chosen to make it easier to utilize for Twitter data research.

The emotions expressed in the dataset are Worry, Anger, Anxiety, Desire, Disgust, Fear, Happiness, Relaxation and Sadness, respectively. These emotions also determine the labels in the data set. That is, labeled data are classified according to these emotions. It was tried to find out which of these emotion types the unlabeled data belonged to. In the study, both labeled and unlabeled data were classified according to the model created by using the labeled data, and the classification success was shown in the tables.

5.2. Accuracy Analysis

The evaluation criterion employed at this stage is the measure of accuracy.

This section consists of a two-stage evaluation process. In the first stage, the performance of the proposed approach is tested on the labeled data and the basis of the model to be used in the next stage is established. In the first step, the OFS cluster is obtained using the best-known IG, CHI2, DFS, GI and PS feature selection approaches. This set constitutes the feature space of the information system presented to the rough sets. Rules are created with the help of rough sets over the obtained information system. These rules are one of the cornerstones of the working principle of the proposed approach and significantly affect the

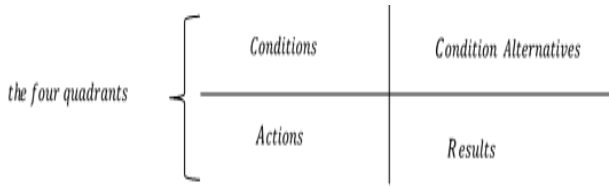
performance of the approach. Therefore, it is an important criterion to determine the feature space in which the approach gives the best results. To determine this criterion, the model is tested in different feature spaces. This process is been chosen at random from the top-n values in the study. The feature subsets chosen are 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, and 800, in that order. In addition, the OFS numbers obtained for each selected feature size are 150, 283, 484, 612, 878, 1047, 1184, 1289, 1353 and 1562, respectively. The rule-based working model associated with each feature dimension is then tested for 75, 150, 250, 400, 600, and 700 feature dimensions. The dimensions for this test are also chosen at random. Table 1 shows the accuracy results obtained.

In 50/150 notation, 50 denotes the top-50 value for feature selection approaches, and 150 denotes the OFS value obtained based on this top-50 value. Table-1 also includes all other top-n values. According to Table 1, the top-800 has the highest accuracy when the test size is 400. This data determines the top-n and associated OFS values that will be used to build the model structure in the next step. As a result, the feature size for the second stage is 800, and the OFS value is 1353. The second phase is divided into two parts: *comparing against existing rule-based working models and running on unlabeled data*.

5.3. Comparing against existing rule-based working models

Performance comparisons are made with the proposed approach, rule-based ZeroR, Decision Table, JRip and Part approaches.

- The ZeroR method calculates the mean of numerical or nominal test data. It follows the basic coverage algorithm rules. ZeroR essentially just attempts to detect the majority class distribution, which is assumed as a rule. ZeroR estimates the arithmetic mean for numeric class characteristics and the value of the mode class for nominal class attributes. Other than this, ZeroR does not generate any rules.
- Decision Tables are a technique for modeling complex logic, systematizing decision making, and testing all combinations that influence a decision. Decision Table Structure; Decision tables consist of 4 parts called "Conditions", "Condition Alternatives", "Actions" and "Results". This particular structure is called "The Four Quadrants".



- JRip is a basic and extensively used algorithm. Classes are inspected in increasing order, and a starting rule set for the class is produced using incremental reduced error JRip. (RIPPER). It then treats all instances of a certain decision in the training data as a class and searches for a set of rules that applies to all members of that class. The method is then repeated for the next class until all classes have been processed. They start with a default rule and aim to learn rules that predict default exceptions using a training dataset. Each learned rule is made up of a set of propositional invariants. Each literal indicates a single-value data division.
- The algorithm generates "decision lists" of rules that represent the intended set of rules. A new item is compared to each rule in the list in turn, and the class assigned to it is that of the first matching rule. PART produces a partial C4.5 decision tree at each iteration, with the "best" leaf being a rule. PART is an extremely efficient method in terms of both computational performance and results. The decision tree learning divide-and-conquer strategy is generally used with the rule-learning divide-and-conquer method in PART. The C4.5 method is used to build a decision tree, and the leaf with the maximum coverage is turned into a rule. This rule's set of examples is then discarded, and the procedure is repeated. As a result, an ordered collection of rules is generated, which is augmented with a default rule that applies in cases where none of the preceding rules apply.

The proposed approach's performance is compared to the existing rule-based classifier approaches given above based on the success of the 75, 150, 250, 400, 600, and 700 feature dimensions. For existing classification approaches, DFS, CHI2, IG and GI feature selection approaches are used. The performance of each classifier on the feature subset presented by the feature selection approaches is compared to the success of the proposed approach for the feature subset of the same size. The results are shown in Figures 4, 5, 6 and 7.

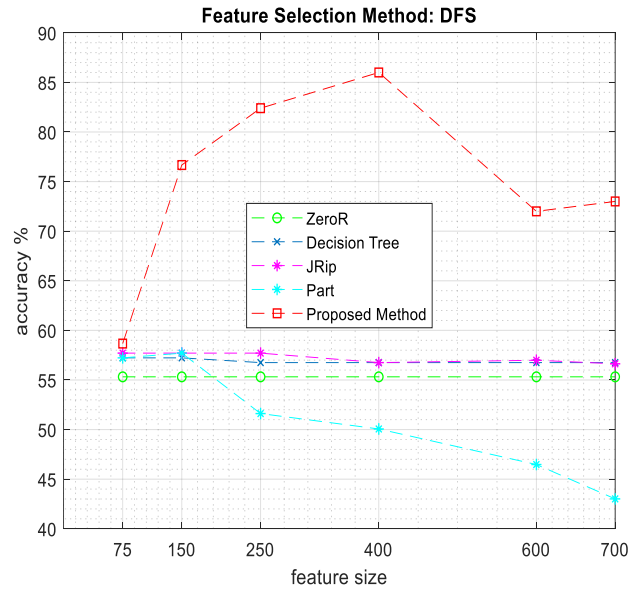


Figure 4. Classifier accuracy results for DFS

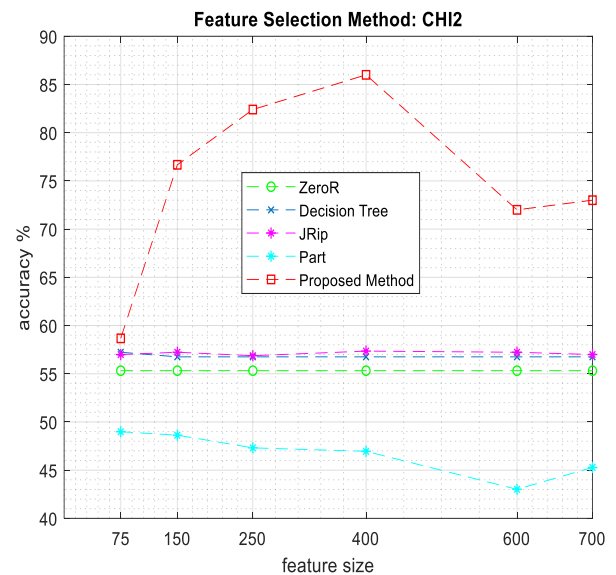


Figure 5. Classifier accuracy results for CHI2

Figure 4 and Figure 5 show the performance of the current classifiers for the DFS and CHI2 feature selection approaches, as well as the performance of the proposed approach for the same feature size regardless of feature selection approach. When Figure 4 and Figure 5 are examined, it is seen that the proposed approach gives much better results in all feature dimensions. The reason for this is the similarity calculation ability of the presented model, depending on the fact that the proposed approach successfully reveals the hidden and meaningful information in the data with the help of rough sets.

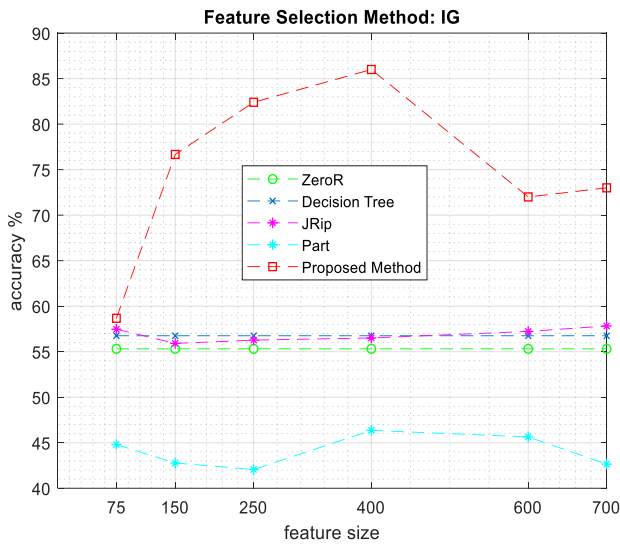


Figure 6. Classifier accuracy results for IG

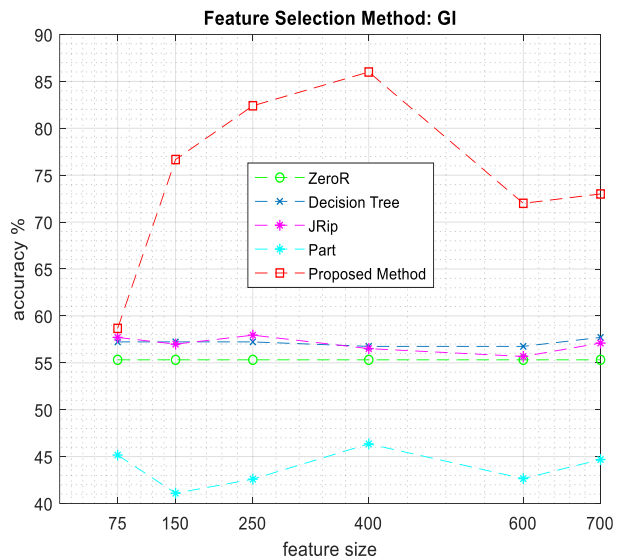


Figure 6. Classifier accuracy results for GI

Similarly, Figure 5 presents the results of the classifiers for the GI and IG feature selection approaches. Again, Figure 5 shows the performance of the proposed approach for the same feature size, regardless of the feature selection approach. When Figure 5 is examined, it is clear that the proposed approach yields the best results. The proposed approach's working mechanism outperforms other existing classifiers in terms of extracting meaningful content from the Covid 19 dataset.

The second stage consists of evaluation on unlabeled data. The label of unlabeled data will be estimated with the rules generated with rough sets on top-n feature sizes that give the best results (top-800).

5.4. Running on unlabeled data

In the previous stage, it was learned that the best results were obtained in 400 test feature sizes (See Table 1). At this stage, firstly, experimental results for top-100, 1000 and 5000 were obtained by using 400 unlabeled data in line with this information. The results are given in Table 2.

Table 2. Results For Top-50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, and 1000 by using 400 unlabeled text documents

Emotion (Class)	Top -50		Top -100		Top -200		Top -300		Top -400	
	Number	Rate	Number	Rate	Number	Rate	Number	Rate	Number	Rate
Anger	18	0.0450	21	0.0525	7	0.0175	18	0.0450	18	0.0450
Anxiety	355	0.8875	364	0.9100	353	0.8825	353	0.8825	360	0.9000
Desire	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Disgust	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Fear	12	0.0300	1	0.0025	23	0.0575	11	0.0275	0	0.0000
Happiness	1	0.0025	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Relaxation	4	0.0100	1	0.0025	1	0.0025	5	0.0125	16	0.0400
Sadness	10	0.0250	13	0.0325	16	0.0400	13	0.0325	6	0.0150
Emotion (Class)	Top -500		Top -600		Top -700		Top -800		Top -1000	
	Number	Rate	Number	Rate	Number	Rate	Number	Rate	Number	Rate
Anger	5	0.0125	5	0.0125	2	0.0050	3	0.0075	3	0.0075
Anxiety	362	0.9050	311	0.7775	376	0.9400	369	0.9225	383	0.9575
Desire	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Disgust	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Fear	2	0.0050	22	0.0550	7	0.0175	5	0.0125	2	0.0050
Happiness	1	0.0025	0	0.0000	1	0.0025	1	0.0025	0	0.0000
Relaxation	18	0.0450	23	0.0575	6	0.0150	12	0.0300	5	0.0125
Sadness	12	0.0300	39	0.0975	8	0.0200	10	0.0250	7	0.0175

Table 2 contains eight different emotional expressions. These emotional expressions also denote social class. In the table, "Number" refers to the number of emotions and "Rate" refers to their ratio. Table 2 shows the results of the proposed model for various top-size properties. The results clearly show that 'Anxiety' is the dominant emotion. It is also useful to compare these results to the labeled data distribution in the dataset. The distribution of labeled data in terms of emotion expressions is shown in Table 3.

Table 3. Text data descriptive statistics and emotion ratings.

Emotions	Ratio (%)
Anger	4.33%
Anxiety	55.36%
Desire	1.09%
Disgust	0.69%
Fear	9.22%
Happiness	1.38%
Relaxation	14.36%
Sadness	13.36%

The intense emotion in the Covid 19 dataset is 'Anxiety' as shown in Table 3. Furthermore, when other emotions are considered, it is very close to the emotion classification of the proposed model on unlabeled data. This demonstrates that the proposed method successfully performs sentiment analysis. To gain a better understanding of the situation, examine the emotion classification based on the top-800, which

previously provided the best results. Table 4 shows the Top-800 results using unlabeled text document data from 75, 150, 250, 400, 600 and 700.

The DN on Table 4 indicates the number of documents with the relevant emotion, and the UDD-n indicates the n number of unlabeled documents. In addition, when Table 4 is taken into account, it is seen that the emotion distribution is better for UDD-400.

As a result, it was observed in the experiments that the proposed approach gave more effective results on the RWWD dataset than the other existing rule-based models. In addition, it has been determined that the model gives more successful results in Top-800 feature size on unlabeled data. After all, it can be said that people mostly feel "Anxiety" about COVID-19.

Table 4. Results For Top-50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, and 1000 by using 400 unlabeled text documents

Emotion (Class)	UDD -75		UDD -150		UDD -250		UDD -400		UDD -600		UDD -700	
	DN	Rate	DN	Rate	DN	Rate	DN	Rate	DN	Rate	DN	Rate
Anger	4	0.0533	5	0.0333	5	0.0200	3	0.0075	8	0.0133	8	0.0114
Anxiety	68	0.9067	140	0.9333	235	0.9400	369	0.9225	571	0.9517	661	0.9443
Desire	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Disgust	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
Fear	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0040	5	0.0125	2	0.0033	3	0.0043
Happiness	1	0.0133	1	0.0067	1	0.0040	1	0.0025	1	0.0017	1	0.0014
Relaxation	0	0.0000	1	0.0067	3	0.0120	12	0.0300	5	0.0083	10	0.0143
Sadness	2	0.0267	3	0.0200	5	0.0200	10	0.0250	13	0.0217	17	0.0243

6. Conclusion

The COVID-19 pandemic crashed into people's lives like a nightmare in 2020. People have suffered greatly as a result of this epidemic. They lost their lives, health, social activities, freedom, and economic, mental, and emotional well-being. These effects appear to last a long time. To mitigate the effects, accurately and effectively analyze people's feelings about the epidemic and develop solutions accordingly. This study presents effective implications on the RWWD dataset, which examines people's emotions and concerns at a time when the impact of the COVID-19 pandemic is affecting the lives of all people living in the UK. In the study, features that provide important information were selected with feature selection approaches that are effective in classifying text data, and a rule-based model with a rough set that provides effective information from insufficient data was presented. The model successfully revealed private information in text data. In the study, while manually labeled data was used in model creation, unlabeled data was provided in the background to determine the label with the proposed model. Experimental results show that the proposed model outperforms existing classical approaches in classification. The results also revealed that people are very worried and fearful about the pandemic. Uncertainty, fear and anxiety caused by the pandemic can lead to a wide range of negative consequences such as anxiety and fear in society, psychological problems, insecurity and increased violence, disruption in family structure, weakening of social ties, economic difficulties, interruptions in education. Therefore, it is important to develop urgent and comprehensive policies to address and minimise the psychological and social impacts of the pandemic. Building solidarity and support mechanisms at the individual and societal level is vital in mitigating the negative effects of the pandemic and making our society more resilient.

Contribution of Researchers

In this study, the author worked alone in all processes of the study, such as literature research, conducting experimental studies, and analyzing the results.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Acheampong, F. A., Wenyu, C., & Nunoo-Mensah, H. (2020). Text-based emotion detection: Advances, challenges, and opportunities. *Engineering Reports*, 2(7), e12189.
- Arulmurugan, R., Sabarmathi, K. R., & Anandakumar, H. (2019). RETRACTED ARTICLE: Classification of sentence level sentiment analysis using cloud machine learning techniques. *Cluster Computing*, 22(Suppl 1), 1199–1209.
- Aue, A., & Gamon, M. (2005). Customizing sentiment classifiers to new domains: A case study. *Proceedings of Recent Advances in Natural Language Processing (RANLP)*, 1(3.1), 1–2.
- Banda, J., Tekumalla, R., Wang, G., Yu, J., Liu, T., Ding, Y., & Chowell, G. (2020). A Twitter dataset of 150+ million tweets related to COVID-19 for open research, April 5.
- Blitzer, J., Dredze, M., & Pereira, F. (2007). Biographies, bollywood, boom-boxes and blenders: Domain adaptation for sentiment classification. *Proceedings of the 45th Annual Meeting of the Association of Computational Linguistics*, 440–447.
- ÇEKİK, R. (2022). Metin Siniflandırma İçin Filtre Öznitelik Seçim Yaklaşımları. *Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar II*, 87.
- ÇEKİK, R., & Mahmut, K. (2023). A New Feature Selection Metric Based on Rough Sets and Information Gain in Text Classification. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 10(4), 472–486.
- Cekik, R., & Uysal, A. K. (2020). A novel filter feature selection method using rough set for short text data. *Expert Systems with Applications*, 160, 113691.

- Chandrashekar, G., & Sahin, F. (2014). A survey on feature selection methods. *Computers & Electrical Engineering*, 40(1), 16–28.
- Chen, E., Lerman, K., & Ferrara, E. (2020). Covid-19: The first public coronavirus twitter dataset.
- Devi Sri Nandhini, M., & Pradeep, G. (2020). A hybrid co-occurrence and ranking-based approach for detection of implicit aspects in aspect-based sentiment analysis. *SN Computer Science*, 1, 1–9.
- Garcia-Garcia, J. M., Penichet, V. M. R., & Lozano, M. D. (2017). Emotion detection: a technology review. *Proceedings of the XVIII International Conference on Human Computer Interaction*, 1–8.
- Grzymala-Busse, J. W. (1992). LERS-a system for learning from examples based on rough sets. *Intelligent Decision Support: Handbook of Applications and Advances of the Rough Sets Theory*, 3–18.
- Grzymala-Busse, J. W. (2015). Rule induction from rough approximations. *Springer Handbook of Computational Intelligence*, 371–385.
- Ibrahim, H. S., Abdou, S. M., & Gheith, M. (2015). Idioms-proverbs lexicon for modern standard Arabic and colloquial sentiment analysis. *ArXiv Preprint ArXiv:1506.01906*.
- Klebanov, B. B., Burstein, J., & Madnani, N. (2013). Sentiment profiles of multiword expressions in test-taker essays: The case of noun-noun compounds. *ACM Transactions on Speech and Language Processing (TSLP)*, 10(3), 1–15.
- Kleinberg, B., Van Der Vegt, I., & Mozes, M. (2020). Measuring emotions in the covid-19 real world worry dataset. *ArXiv Preprint ArXiv:2004.04225*.
- Liu, B. (2010). Sentiment analysis and subjectivity. *Handbook of Natural Language Processing*, 2(2010), 627–666.
- Liu, S., Lee, K., & Lee, I. (2020). Document-level multi-topic sentiment classification of email data with bilstm and data augmentation. *Knowledge-Based Systems*, 197, 105918.
- Meena, A., & Prabhakar, T. V. (2007). Sentence level sentiment analysis in the presence of conjuncts using linguistic analysis. *Advances in Information Retrieval: 29th European Conference on IR Research, ECIR 2007, Rome, Italy, April 2-5, 2007. Proceedings 29*, 573–580.
- Pak, M. Y. (2015). Metinlerde duygu analizi ve sınıflandırma için yeni yöntemler. *Anadolu University (Turkey)*.
- Parlak, B., & Uysal, A. K. (2020). On classification of abstracts obtained from medical journals. *Journal of Information Science*, 46(5), 648–663.
- Parlak, B., & Uysal, A. K. (2023). A novel filter feature selection method for text classification: Extensive Feature Selector. *Journal of Information Science*, 49(1), 59–78.
- Pawlak, Z. (1998). Rough set theory and its applications to data analysis. *Cybernetics & Systems*, 29(7), 661–688.
- Sarsam, S. M., Al-Samarraie, H., Alzahrani, A. I., Alnumay, W., & Smith, A. P. (2021). A lexicon-based approach to detecting suicide-related messages on Twitter. *Biomedical Signal Processing and Control*, 65, 102355.
- Schouten, K., & Frasinca, F. (2015). Survey on aspect-level sentiment analysis. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 28(3), 813–830.
- Stefanowski, J. (1998). On rough set based approaches to induction of decision rules. *Rough Sets in Knowledge Discovery*, 1(1), 500–529.
- Stefanowski, J. (2001). Algorithms of decision rule induction in data mining. *Poznan University of Technology Press, Poznan, Poland*.
- Turney, P. D. (2002). Thumbs up or thumbs down? Semantic orientation applied to unsupervised classification of reviews. *ArXiv Preprint Cs/0212032*.
- Uysal, A. K., & Gunal, S. (2012). A novel probabilistic feature selection method for text classification. *Knowledge-Based Systems*, 36, 226–235.
- Williams, L., Bannister, C., Arribas-Ayllon, M., Preece, A., & Spasić, I. (2015). The role of idioms in sentiment analysis. *Expert Systems with Applications*, 42(21), 7375–7385.
- Zhang, S., Zhang, X., Chan, J., & Rosso, P. (2019). Irony detection via sentiment-based transfer learning. *Information Processing & Management*, 56(5), 1633–1644.

ESKİŞEHİR İLİNDE YAPI TEMEL KAZILARINDA SIVILAŞMA İZLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ali KAYABAŞI^{1*}

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-6460-0628>

Anahtar Kelimeler	Öz
Eskişehir Deprem Sıvılaşma Kapak zemin Yüzey deformasyonu	<i>Bu çalışmanın amacı, Eskişehir ilinde geçmiş depremlerde sıvılaşmanın varlığını araştırmaktır. Bu kapsamda Eskibağlar, Yenibağlar, Vişnelik, Sümer ve Şarhöyük mahallelerindeki temel kazılarında inceleme yapılmıştır. Şarhöyük ve Vişnelik mahallelerindeki temel kazılarında bulunan kum mercikleri dışında belirgin kum sokulumu ve benzeri oluşumlar diğer kazılarda bulunamamıştır. Depremde oluşacak sıvılaşma nedeniyle temel kazılarında yüzey deformasyonu oluşabilirliği de araştırılmıştır. 0.33g ve 0.48g ivmelerini oluşturacak deprem senaryoları değerlendirilmiştir. 0.33g ivme ile oluşacak bir deprem senaryosunda Şarhöyük ve Sümer mahallelerin temel kazılarında sıvılaşma belirlenmemiştir. Yenibağlar, Eskibağlar ve Vişnelik mahallelerindeki temel kazılarında sıvılaşabilir seviyeler belirlenmiştir. 0.48g ivmeli deprem senaryosunda tüm temel kazı sahalarında sıvılaşan seviyeler belirlenmiştir. Bu seviyelerin kalınlıklarının 0.33g deprem senaryosuna göre arttığı görülmüştür. Sıvılaşma Şiddeti İndeksi-Kapak zemin Kalınlığı (m) abağına göre 0.33g deprem senaryosuna göre Yenibağlar mahallesinde deformasyon izi yüzeyde beklenmemektedir. Eskibağlar ve Vişnelik mahallelerinde ise sıvılaşma beklenmemektedir. 0.48g depremi senaryosuna göre Vişnelik ve Yenibağlar mahallelerinde yüzeyde sıvılaşma deformasyonu beklenmektedir. Şarhöyük ve Eskibağlar mahallelerinde yüzeyde sıvılaşma izi beklenmezken, Sümer mahallesinde sıvılaşma beklenmemektedir.</i>

INVESTIGATION OF LIQUEFACTION TRACES IN BUILDING FOUNDATION EXCAVATIONS IN ESKİŞEHİR CITY

Keywords	Abstract
Eskişehir Earthquake Liquefaction Cap soil Surface deformation	<i>The aim of this study is to investigate the existence of liquefaction in past earthquakes in Eskişehir city. In this context, the presence of liquefaction was investigated in the foundation excavations in Eskibağlar, Yenibağlar, Vişnelik, Sümer and Şarhöyük neighborhoods. No obvious sand intrusions or similar formations were found in foundation excavations except for the sand lenses found in the Şarhöyük and Vişnelik neighborhoods foundation excavations. The possibility of surface deformation during liquefaction at foundation was also investigated. Earthquake scenarios that would produce acceleration of 0.33g and 0.48g were evaluated. Liquefaction could not be detected in the foundation excavations of Şarhöyük and Sümer neighborhoods with an 0.33g earthquake scenario. Liquefiable levels were determined in yenibağlar, Eskibağlar and Vişnelik neighborhood foundaton excavations. Liquefiable levels were determined in all foundation excavation sites with the 0.48g earthquake scenario. It was observed that the thickness of these levels increased compared to the 0.33g earthquake scenario. With the 0.33g earthquake scenario, no trace of deformation is expected on the surface in Yenibağlar neighborhood, according to the Liquefaction Severity Index-Cap Soil Thickness Chart. Liquefaction is not expected in Eskibağlar and Vişnelik neighborhoods. According to the 0.48q earthquake scenario, liquefaction deformation is expected on the surface of Vişnelik and Yenibağlar neighborhoods. While no trace of liquefaction is expected on the surface in Şarhöyük and Eskibağlar neighborhoods, no liquefaction is expected in the Sümer neighborhood.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 12.12.2023

: 29.04.2024

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 12.12.2023

: 29.04.2024

* Sorumlu yazar: akayabasi@ogu.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1403782>



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

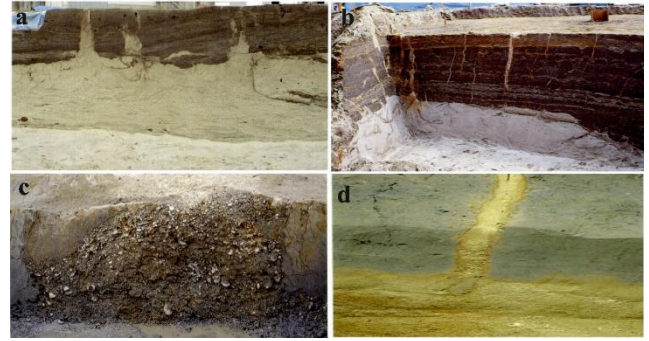
Deprem esnasında, suya doymun, kohezyonsuz suya doymun zeminlerin kesme dayanımını kaybetmesine sıvılaşma adı verilmiştir. 1930'lu yıllarda Casagrande (1933) ve Mogami ve Kubo (1953) sıvılaşma ifadesini ilk kullananlardır. 27 Mart 1964 tarihli, 9.2 Mw Alaska depremi ve 16 Haziran 1964 tarihli, 7.5 Mw büyüklüğündeki Niigata (Japonya) depremi sırasında oluşan sıvılaşma doğa olayı yer bilimcilerin ve jeoteknikçilerin araştırma konularından biri olmuştur. Ülkemizde ilk defa Erzincan depreminde (13 Mart 1992, Mw=6.8) sıvılaşmanın varlığı fark edilmiştir. 1995 Dinar; 1999 Adana-Ceyhan; 1999 Kocaeli, 1999 Düzce, 2002 Çay-Eber; 2011 Van ve 2023 Kahramanmaraş depremlerinde sıvılaşmanın yıkıcı özelliği yaygın olarak gözlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında Eskişehir ilinde 5 adet temel kazısında eski sıvılaşma izlerinin varlığı araştırılmıştır. Planlanan yapılar için açılan sondaj verileri ve yapılan SPT deneyi sonuçları ile SPT örnekleriyle indeks deneyleri, tane dağılım analizleri ve Atterberg deneyleri gerçekleştirilmiştir. Seed ve Idriss (1982); Seed, Tokimatsu, Harder ve Chung., (1985); Youd ve diğ. (2001) tarafından önerilen sıvılaşma analizi yöntemleri kullanılarak, analizler yapılmıştır. Sıvılaşmanın yüzeydeki hasarını tahmin edebilmek için Ishihara (1985) de bir abak önermiştir. Bu abak örtü kalınlığını, sıvılaşabilir seviye kalınlığı ve deprem büyüklüğünü değerlendirmektedir. Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) aynı şekilde sıvılaşmayan örtü kalınlığı ile sıvılaşan seviye kalınlığı, en büyük yatay ivme arasındaki ilişkileri incelemiş ve abak önermiştir. Bu çalışmada Ishihara (1985) ve Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) abaklarının değerlendirilmesiyle sondaj yerlerinde iki farklı deprem senaryosu ile olası yüzey deformasyonlarının oluşabilirliği incelenmiştir.

1.1. Kazı Alanlarında Sıvılaşma İzlerinin Aranması

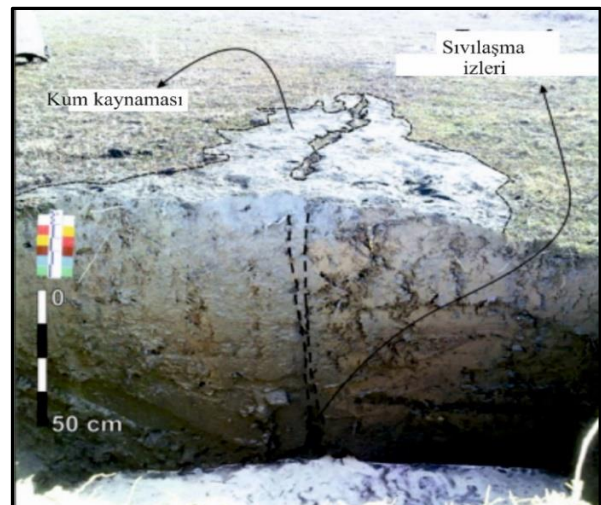
Kum fişkırmaları, yanıl yayılma ve yanıl yayılma çatlakları uzaktan algılama yöntemleri ile tespit edilebilmektedir. Bununla birlikte bu türlü büyük ölçekli sıvılaşma izleri insan aktiviteleri, erozyon, bitki örtüsü gibi etkenlerle izlenemez duruma gelebilir. Yapı temel kazılarında, arkeolojik araştırmalarda veya her türlü kazı işlerinde sıvılaşma izleriyle de karşılaşılabilir. Paleodepremlerde oluşmuş sıvılaşma yapılarına Japonya'daki arkeolojik araştırmalarda çok karşılaşılmaktadır. Kanaori, Kawakami, Yairi, ve Hattori., (1993). Orta Japonya alüvyon düzlüklerinde kazılan 55 arkeolojik bölgede sıvılaşma ve akıntı olaylarını çalışmıştır. En dikkat çekici yapılar yüzeye doğru tane boyunun küçüldüğü kum ve çakıl sokulumlarıdır. Şekil 1' de Osaga, Shiga ve Kyoto eyaletlerinde yapılan kazılarda bulunan sıvılaşma yapıları görülmektedir. Sıvılaşmanın sadece kumlarda değil çakıl boyundaki tanelerde de oluştuğu

görülmektedir. Bazı arkeolojik eserlerin kumla birlikte taşındığı ve sürüklendiği de görülmüştür (Kanaori ve diğ., (1993)). Arkeolojik yaş tayinleri bu sıvılaşma yapılarının üç dönemde olduğunu belirlemiştir. İlk dönem M.Ö 1000 civarında, ikinci dönem MS 0-500 yıllarında ve MS 1500 yıllarında oluştuğu belirlenmiştir.



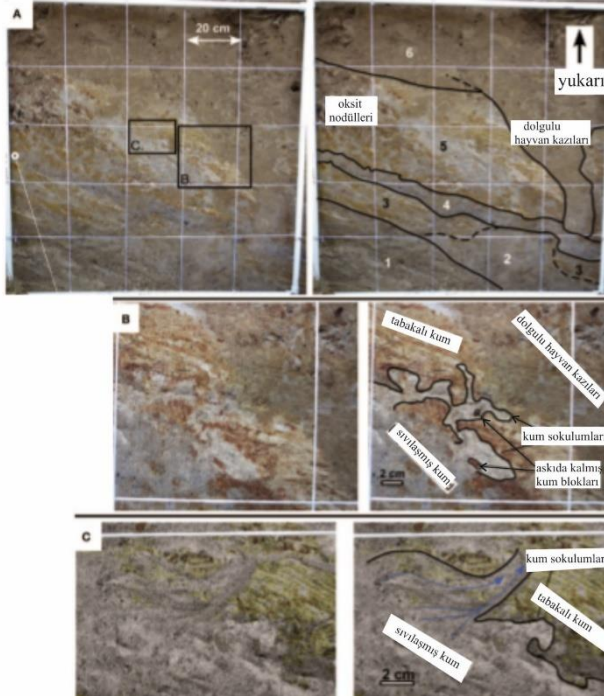
Şekil 1. a) Osaka Eyaletindeki Nishisanso ve Yakumo Higashi Kazılarında Sıvılaşma İzleri b) Osaka Eyaletindeki Nishikonoike Kalıntılarındaki Sıvılaşma İzleri c) Shiga Eyaletindeki Yao Kalıntılarındaki Sıvılaşma İzleri. Sıvılaşma, Maksimum Çakıl Çapı 10 cm Olan Çakılarda Meydana gelmiştir (Bunun Yayoi Döneminin Ortasında Meydana Gelmiş Olması Kuvvetle Muhtemeldir) d) Kyoto Eyaleti Tsugava Nehir Yatağında Kum Sokulumu (Kanaori ve diğ., 1993).

Akin, Ozvan, Akin ve Topal., (2013) 23 Ekim 2011 de Mw 7.2 olarak gerçekleşen Van (Türkiye) depremini incelemişlerdir. Sıvılaşmanın yüzeye yakın 4m derinlikte olan bir zon içinde olduğunu belirlemişlerdir. Şekil 2'de yüzeyde ve düşeyde sıvılaşmış zemin izleri görülmektedir. Yüzeydeki izler zaman içinde silinse bile düşeydeki izler burada sıvılaşmanın gerçekleştiğini ifade etmektedir.

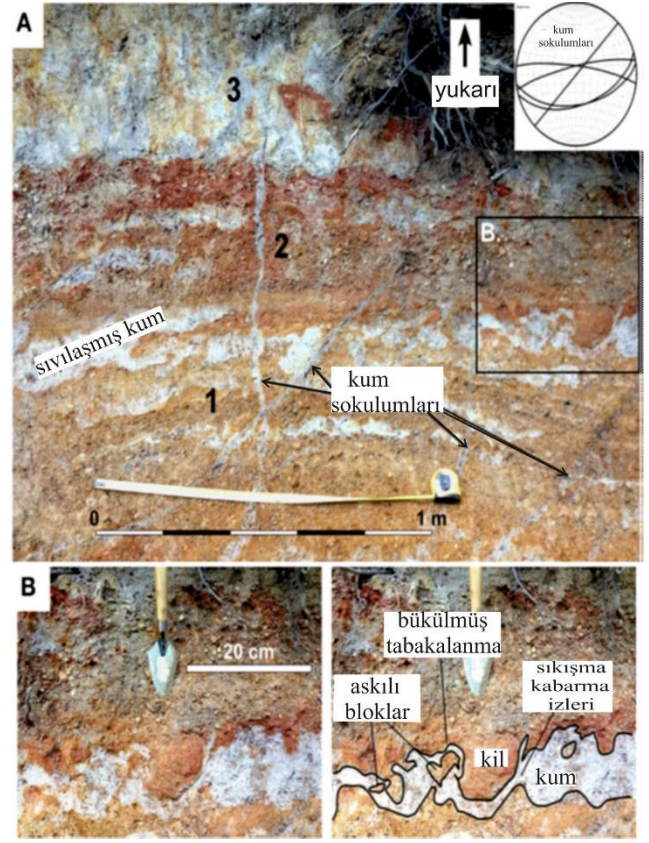


Şekil 2. 23 Ekim 2011 de Mw 7.2 Olarak Gerçekleşen Van (Türkiye) Depreminde Sıvılaşma Görünümü (Akin ve diğ., 2013).

Cox, Christopher, Yanjun ve Shanon., (2014)'de Güneydoğu Arkansas (ABD) deki büyük ölçekli kum fıskırmaları alanlarını metrik ölçekte ayrıntılı olarak incelemiştir. Saline nehri taraçaları ve taşkın alanında Saline fayı üzerinde gerçekleşmiş kıvrımlı kum tabakalanmaları, kırıntılı sokulumlar, askılı kum blokları, su kaçış olukları gibi küçük ölçekli sıvılaşma izlerini belirlemişlerdir (Şekil 3 ve 4). Daha önceden haritalanmış olan büyük ölçekli sıvılaşma izlerinin $M>6.5$ büyüklüğünde bir depreme ait olduğu düşünülürken, metrik boyuttaki sıvılaşma izlerinden bölgede tek bir depremde oluşan sıvılaşma olmadığı ve sıvılaşmanın önce belirlenen alandan daha geniş bir alanda gerçekleştiği belirlenmiştir. En uzak sıvılaşma ve deprem büyüklüğü karşılaştırma görgül eşitliklerinden depremin $M>6.3$ den büyük olabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. A, B ve C Simgeli Görüntülerin Üzerindeki Birimlerin Sınırları Çizilerek, Aynı Görüntüler Solda Tekrar Verilmiştir. Ayrıntılı İncelendiğinde Sıvılaşan Kum Seviyesinin Sıvılaşmayan Kum Seviyesinin İçerisinde Dayk Benzeri Sokulumlar Oluşturduğu Görülmektedir (Cox ve diğ., 2014)



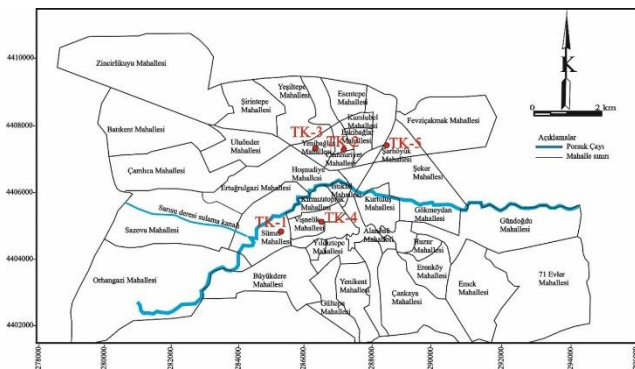
Şekil 4. Üst Birimlere Geçiş Yapmış Kum Sokulumları, Kum Seviyesi İçinde Askıda Kalmış Kil Blokları, Burulmuş Tabakalanma Görünümleri Önceden Olmuş ve Yüzeyde Belirti Vermemiş Sıvılaşma İzleri Belirlenmiştir (Cox ve diğ., 2014).

1.2. Çalışma Alanı Jeolojik ve Tektonik Yapısı

Çalışma alanı Eskişehir'in Tepebaşı ilçesi olup, İç Anadolu bölgesinin batısında 36 UTM zonunun N440900-440400 ve E282000-290000 koordinatları arasında, 1/25000 ölçekli Eskişehir İ25 a4 ve İ24 b3 topoğrafik paftalarında yer alır (Şekil 5). Çalışma alanında topoğrafik eğim %0-10 arasındadır. İl merkezi deniz seviyesinden 800 m yükseklik de olup, güneybatı ve kuzeydoğu yönlü 1200 m yüksekliğe ulaşan sırtlar ile çevrilmiştir. Şehrin batısında birleşen Sarısu ve Porsuk Çayları, şehir yerleşiminin yer aldığı geniş bir alüvyal düzlük alanı oluşturmaktadır.

2.Yöntem

Eskişehir kentinin merkezi kısmında seçilmiş olan 5 temel kazısında sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi ve kazılarda eski sıvılaşma izleri varlığı araştırılmıştır. Temel kazılarının lokasyonu Şekil 8’de verilmiştir. Alüvyon saha genelinde değişik kalınlıklarda çakıllı, kumlu, siltli ve killi seviyelerden oluşmaktadır. Genel olarak, sahada alüvyal zeminlerde değişik kalınlıklarda ve yüzeyden yaklaşık 3 ile 6 m derinlikler arasında siltli kum, siltli kil ve çakıllı kum seviyeleri bulunmaktadır. İnceleme alanı genelinde alüvyonun 3 ile 6 metreleri arasında, sıvılaşmaya aday ve kolay sıvılaşabilen zeminler için, çakıllı kum ve siltli kumların varlığının yanı sıra, yer altı suyu seviyesinin 3-7 m gibi derinliklerde sığ konumda bulunmasının sıvılaşma için uygun ortamlar hazırlayabileceği dikkate alınarak, bu zeminler sıvılaşma potansiyeli açısından değerlendirilmiştir. 6.94 ve 6.4 büyüklüğündeki olası iki deprem senaryosu ile bu temel kazılarında sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Sıvılaşma analizlerinde temel kazıları için yapılan zemin etüt raporlarından faydalanılmıştır. Japonya’da, Port ve Harbour Araştırma Enstitüsü (1997)’ de tane boyu dağılımı açısından potansiyel sıvılaşma eğilimine sahip olan zeminler ile en kolay sıvılaşan zeminler için sıvılaşmanın alt ve üst sınırlarını gösteren tane boyu dağılımı eğrileri ve bu çalışmada belirlenen sıvılaşan seviyelerin tane boyu dağılım eğrileri de değerlendirilmeye dahil edilmiştir. SPT örneklerinden yapılan tane boyu analiz eğrileri genel olarak kolay sıvılaşabilen zemin sınırları (alt sınır) aralığına girmemekle birlikte, potansiyel sıvılaşma(üst sınır) aralığında yoğunlaşmaktadır. Ayrıca, sıvılaşmanın yüzeyde deformasyon oluşturup oluşturmayacağı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

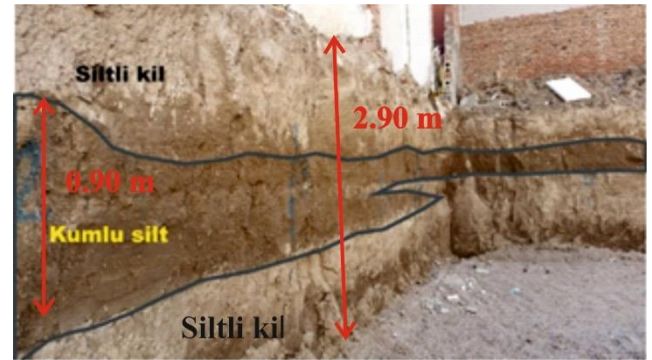


Şekil 8. Temel Kazı (TK) Yerleri Lokasyon Haritası

2.1.Temel Kazıları

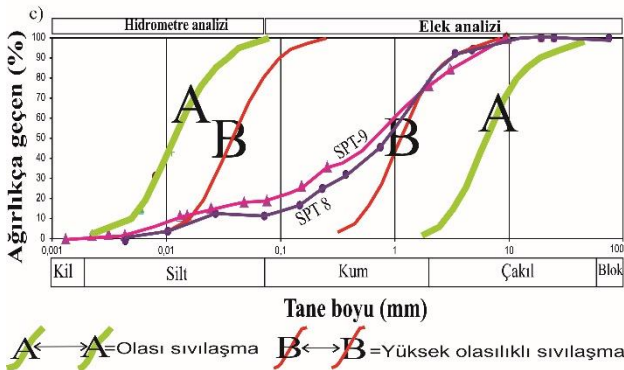
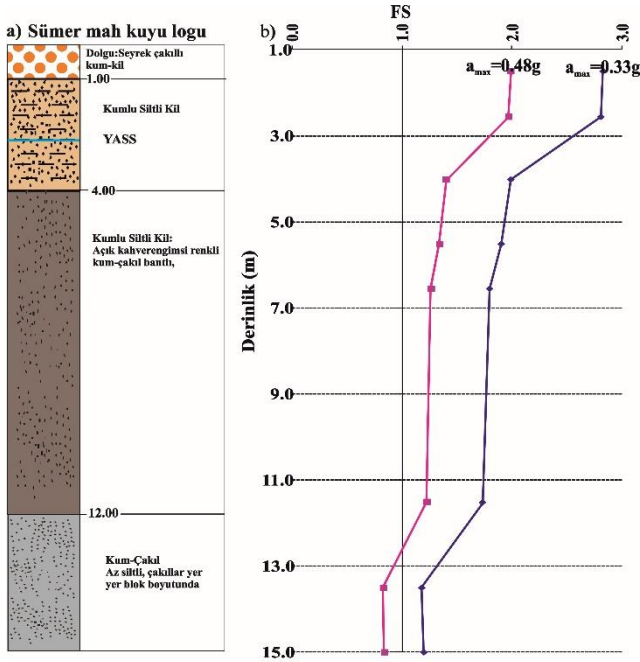
2.1.1.Temel Kazısı (Sümer Mahallesi)

Sümer mahallesi Samimiyet Sokakta (36S 284411,95D 4404942,25K) açılan yapı temel kazısının derinliği 2.90 m eni 12 m boyu 18 m.’dir (Şekil 9). Yüzeyden 1.20 m. derinlikde olan siltli kil düşük plastisiteli, kuru ve açık kahverengi renklidir. Siltli kil biriminin altında 70-90 m kalınlıklarda kumlu silt birimi düşük plastisiteli, nemli ve koyu kahve renktedir. Kumlu siltten sonra 1.10 m kalınlıkta kuruma çatlaklı, açık kahverenkli siltli kil yer almaktadır.



Şekil 9. Sümer Mahallesi Samimiyet Sokak Temel Kazısından Bir Görünüm.

Bu temel kazısında 15.0 m sondaj açılmıştır. Yeraltısuyu ile 2.5 m’de karşılaşmıştır. Açılan sondajda 1m’lik dolgu sonrasında, kumlu siltli kil (11.00 m.) ve kum-çakıl seviyeleri kesilmiştir (Şekil 10a). Sondajda yapılan SPT deney verileri ve laboratuvar deney sonuçları kullanılarak Seed ve Idriss (1982)’nin önerdiği yöntem kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Sıvılaşma analizleri $a_{max}=0,48$ ve $a_{max}=0,33$ ivmelerini oluşturabilecek deprem senaryolarına göre yapılmıştır. Yapılan sıvılaşma analizi sonucunda derinlik-güvenlik katsayısı grafiği Şekil 10’da verilmiştir. $a_{max}=0,48$ ivme oluşturacak depremin gerçekleşmesi durumunda, 13.50 m. sonrasında sıvılaşma riski belirlenmiştir. $a_{max}=0,33$ durumunda bu temelde sıvılaşma riski beklenmemektedir.



Şekil 10. Sümer Mahallesi Samimiyet Sokak a) Temel Araştırma Kuyu Logu b) Derinlik-Sıvılaşma Grafiği c) Sıvılaşan Seviyelerin Tane Boyu Dağılım Eğrileri.

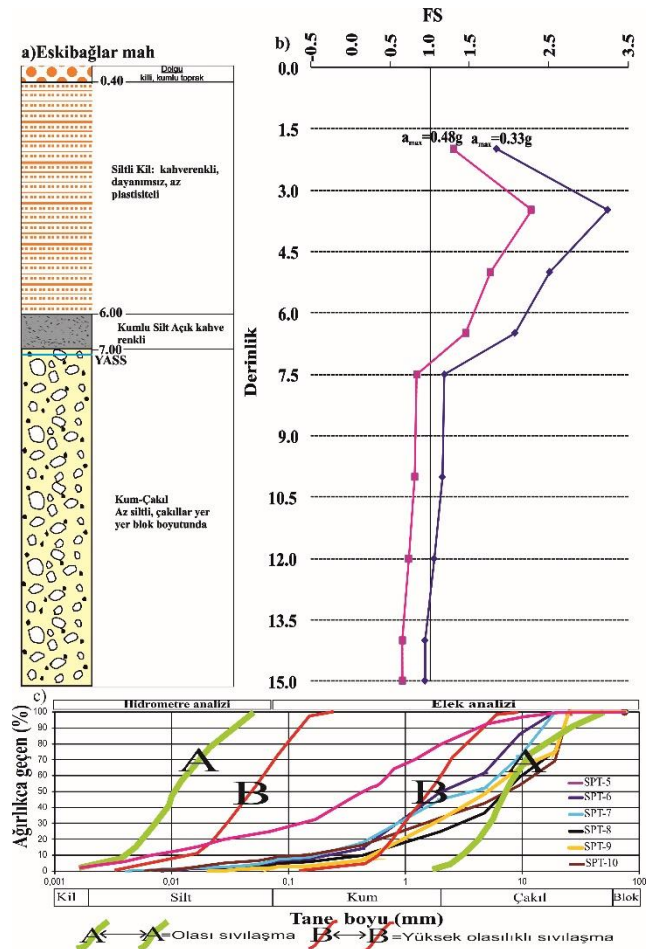
2.1.2 Temel Kazısı (Eskibağlar Mahallesi)

Eskibağlar mahallesi, Gerez Sokakta (36S287029,82D 4406698,15K) açılan yapı temel kazısının derinliği 2 m, eni 24 m boyu 64 m'dir (Şekil 11). Kalınlığı 1.10 m olan dolgu onun altında 90 cm kalınlığında ıslak, kuruma çatlakları az, aşağıya doğru ıslaklığı artan, rengi koyu kahverengi olan siltli kil yer almaktadır. Yapı temel kazısında bulunan sondaj deliğine şerit metre bırakılarak yeraltı suyu 4.5 m olarak ölçülmüştür.



Şekil 11. Eskibağlar Mahallesi Gerez Sokak Temel Kazısından Bir Görünüm.

Bu temel kazısında 15 m sondaj açılmıştır. Yapılan sıvılaşma analizi sonucunda derinlik-güvenlik katsayısı grafiği Şekil 12'de verilmiştir. Sondaj kuyusunda yapılan SPT deneyleri ve alınan örneklerden yapılan laboratuvar deneyleri sonuçları ile sıvılaşma analizi yapılmıştır. $a_{max}=0,48$ ivme oluşturacak depremin gerçekleşmesi durumunda, 7.5 m-15.0 m arasında sıvılaşma riski tespit edilmiştir. $a_{max}=0,33$ durumunda bu temelde sıvılaşma riski 10.0 m sonrası sıvılaşma riski vardır.



Şekil 12. Eskibağlar Mahallesi Gerez Sokak a) Temel Araştırma Kuyu Logu b) Derinlik-Sıvılaşma Grafiği c) Sıvılaşan Seviyelerin Tane Boyu Dağılım Eğrileri.

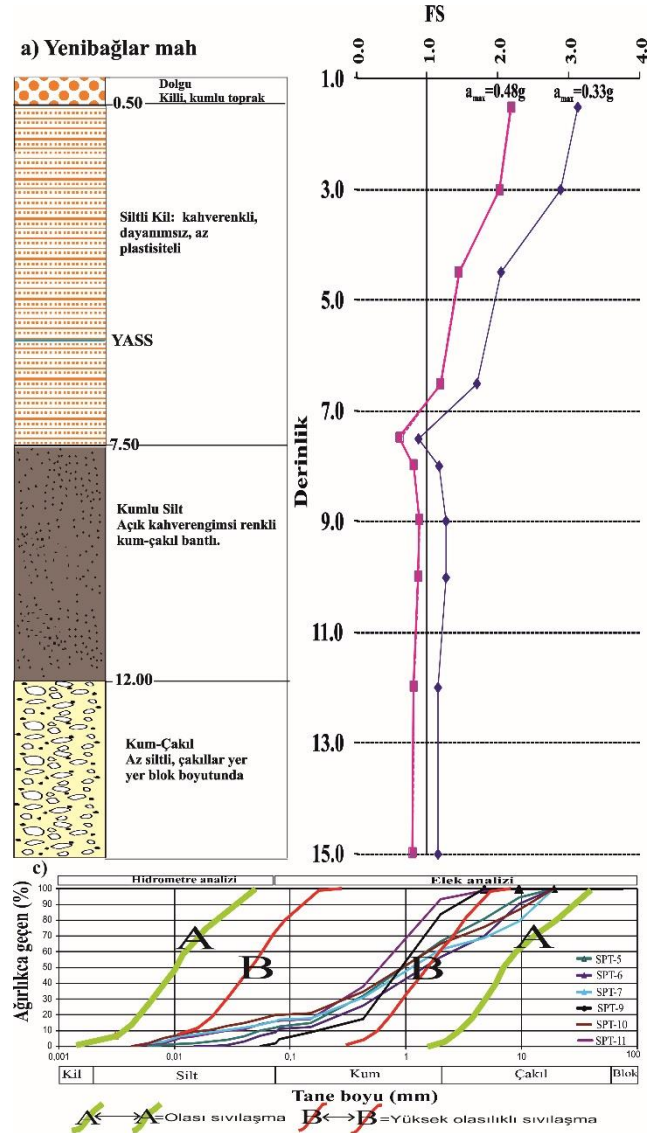
2.1.3 Temel Kazısı (Yenibağlar Mahallesi)

Yenibağlar Mahallesi Erözlü Sokak (36S 286667.43D 4406734,48K) yapı temel kazısının derinliği 3.5 m eni 21 m boyu 62 m'dir (Şekil 13). Temel kazısında yüzeyden sonra istifin 25 cm kalınlığında dolgu, dolgunun altında kalınlığı 1.5 m kuruma çatlağı aşağıya doğru artan ve rengi açık kahverengi olan siltli kil, siltli kilin altında kalınlığı 65 cm, nemli, rengi koyu kahverengi olan kumlu silt ve 1.10m kalınlığında ki siltli kil yer almaktadır.



Şekil 13. Yenibağlar Mahallesi Erözlü Sokak Temel Kazısından Bir Görünüm.

Bu temel kazısında 15 m sondaj açılmıştır. Yeraltısuyu 5.20 m'dedir. 0.50 m dolgu sonrası 7.50 m derinliğe kadar düşük plastisiteli, düşük dayanımlı siltli kil yer almaktadır. Siltli kil seviyesinin altında 12.0 m derinliğe kadar kum-çakıl bantlı kumlu silt seviyesinden sonra kum-çakıl seviyeleri kesilmiştir. Yapılan sıvılaşma analizi sonucunda derinlik-güvenlik katsayısı grafiği Şekil 14'de verilmiştir. $a_{max}=0,48$ ivme oluşuracak depremin gerçekleşmesi durumunda, 7.0 m den sonraki seviyelerde sıvılaşma riski tespit edilmiştir. $a_{max}=0,33$ durumunda bu temelde sıvılaşma riski 7.0-8.0 m arasında sıvılaşma riski vardır.



Şekil 14. Yenibağlar Mahallesi Erözlü Sokak a) Temel Araştırma Kuyu Logu b) Derinlik- Sıvılaşma Grafiği c) Sıvılaşan Seviyelerin Tane Boyu Dağılım Eğrileri.

2.1.4 Temel Kazısı (Vişnelik Mahallesi)

Vişnelik mahallesi, Özveren Sokak (36S285725,60D 4404913,14K) yapı temel kazısı derinliği 2m, eni 21m, boyu 45m'dir (Şekil 15). Temel kazısı 2 m kalınlıkta nemli, kahverenkli siltli kilden oluşmaktadır.



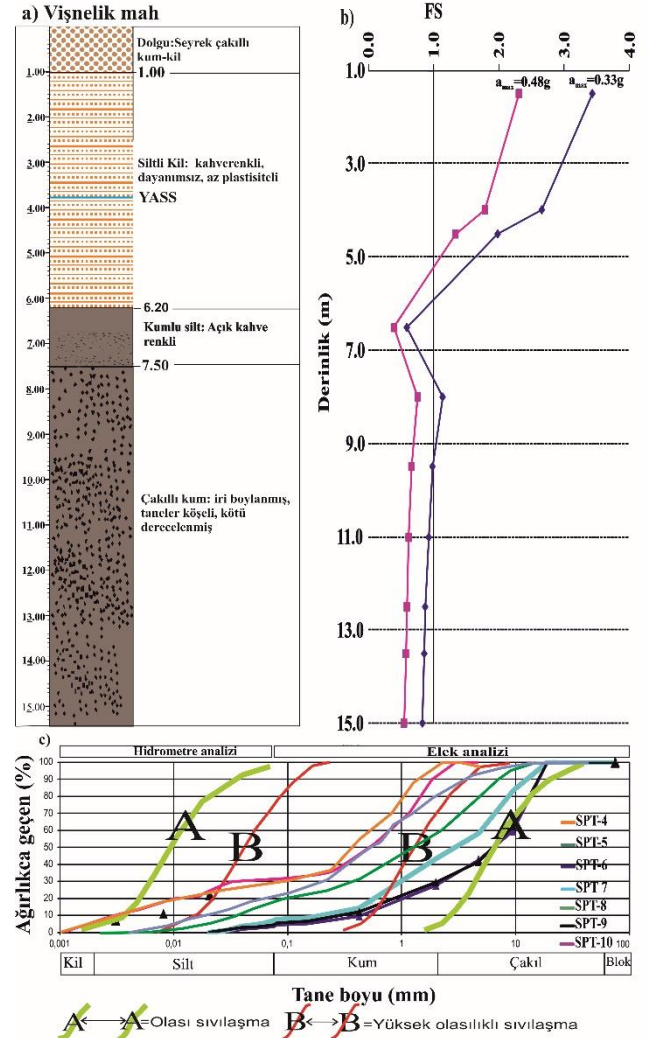
Şekil 15. Vişnelik Mahallesi Özveren Sokak Temel Kazısından Bir Görünüm.

Siltli kil içerisinde yuvarlak ve yarı yuvarlak çapları 1-3 cm arasında küçük çakıllar yer almaktadır. Siltli kilin içerisinde geçmiş yıllara ait sivilaşma izleri olarak değerlendirildiğimiz boyutları 10 cm'yi geçmeyen ve ince çakıl mercikleri görülmüştür (Şekil 16).



Şekil 16. Kum ve Çakıl Mercikleri

Temel kazısında 15 m sondaj açılmıştır. Yeraltısuyu 3.9 m'de karşılaşılmıştır. Sondajda yapılan SPT deneyi ve alınan örneklerden yapılan laboratuvar deneyi verileri ile sivilaşma analizi yapılmıştır. Yapılan sivilaşma analizi sonucunda derinlik-güvenlik katsayısı grafiği Şekil 17'de verilmiştir. $a_{max}=0.48g$ ivme oluşturacak depremin gerçekleşmesi durumunda sivilaşma 5.0 m den sonrası için muhtemel sivilaşma beklenmelidir. $a_{max}=0.33g$ ivme oluşturacak deprem durumunda 6.0-7.5 m arası ve 9.5 m sonrasında muhtemel sivilaşma oluşabilecektir.



Şekil 17. Vişnelik Mahallesi, Özveren Sokak a) Temel Araştırma Kuyu Logu b) Derinlik-Sivilaşma Grafiği c) Sivilaşan Seviyelerin Tane Boyu Dağılım Eğrileri.

2.1.5. Temel Kazısı (Şarhöyük Mahallesi)

Şarhöyük Mahallesi Adaçal Sokak (36S284411,95D 44044942,25K) yapı temel kazısı derinliği 4m eni 18m boyu 42m'dir (Şekil 18). Temel kazısında yüzeyden itibaren kalınlığı 1.60m, taneleri belirgin olmayan, dayanımsız, elle dağılan, kuru, rengi açık kahverengi olan siltli kil gözlenmiştir. Siltli kil altında kalınlığı 37 cm, çakılları yuvarlak-yarı yuvarlak ortalama 1cm çapda, yaklaşık %30 çakıl %70 kum, gevşek, tabakalı çakıllı kum seviyesi yer almaktadır.



Şekil 18. Şarhöyük Mahallesi Adaçal Sokak

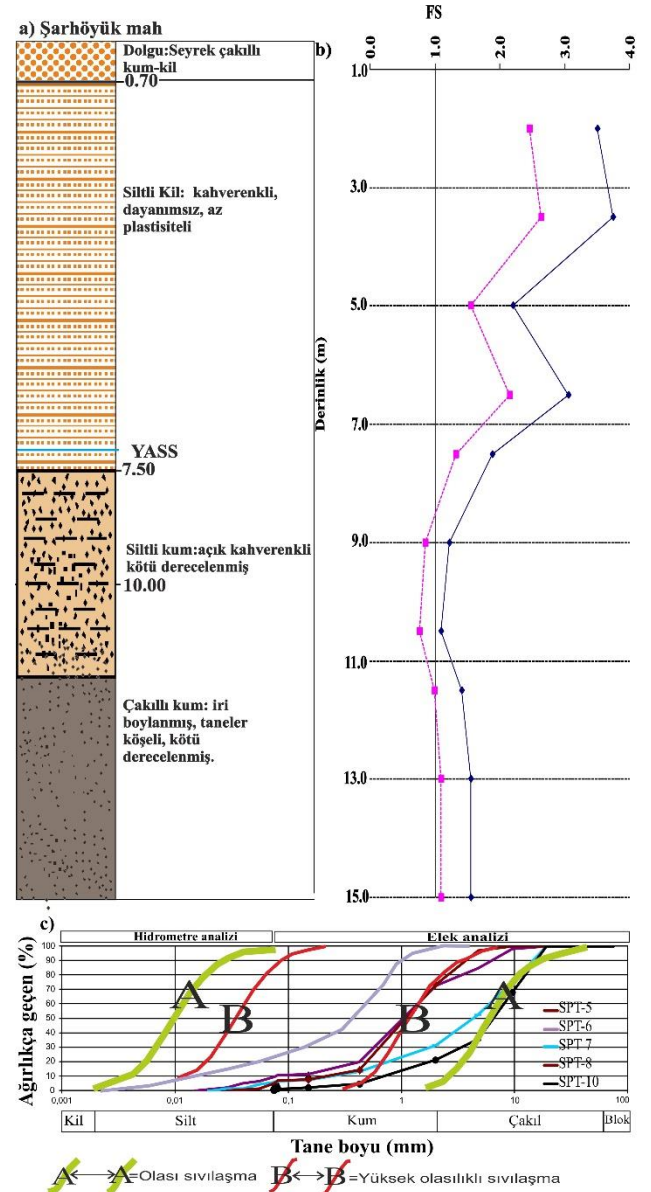
Temel kazısının en altındaki siltli kil seviyesi ise üstteki siltli kil seviyesine göre kil oranı fazla, dayanımlı, daha koyu renklidir. Siltli kilin içerisinde geçmiş yıllara ait sivilaşma izleri veya sedimantasyon olarak düşünülen 5 cm'yi geçmeyen merceksi çakıllı kumlar yer almaktadır (Şekil 19).



Şekil 19. Şarhöyük Mahallesi Adaçal Sokak Yapı Temel Kazısında Çakıl-Kum Mercekleri.

Temel kazısında 15 m sondaj açılmıştır. Yeraltısuuna 7.2 m'de girilmiştir. 0.7 m dolgu sonrasında 7.5 m derinliğe kadar dayanımsız, düşük plastisiteli siltli kil seviyesi kesilmiştir. Siltli kil seviyesinin altında killi siltli kum 11.0 m'den sonra çakıllı kum birimine dönüşmüştür (Şekil 20 a). Yapılan sivilaşma analizi sonucunda derinlik-güvenlik katsayısı grafiği Şekil 20b'de verilmiştir. $a_{max}=0,48g$ ivme oluşturacak depremin gerçekleşmesi durumunda sivilaşma 6.5 m-7.0 m ile 8.5 m-11.5 m arası için muhtemel sivilaşma

beklenmelidir. $a_{max}=0,33g$ ivme oluşturacak deprem durumunda 6.5-7.0 m arasında muhtemel sivilaşma riski vardır.



Şekil 20. Şarhöyük Mahallesi Adaçal Sokak a) Temel Araştırma Kuyu Logu b) Derinlik-Sivilaşma Grafiği c) Sivilaşan Seviyelerin Tane Boyu Dağılım Eğrileri.

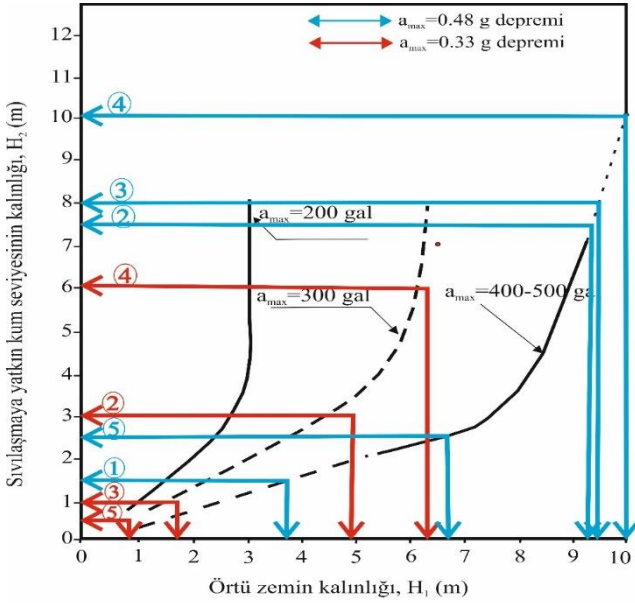
3. Temel Kazılarında Yüzey Deformasyonu Varlığının Değerlendirilmesi

Tablo 1'de temel kazı yerlerinde oluşabilecek sivilaşma seviyeleri verilmiştir. 0.33g deprem senaryosunda sivilaşan seviyelerin kalınlığının 0.48g deprem senaryosunda arttığı görülmektedir.

Temel kazılarından sivilaşmanın yüzey deformasyonu oluşturup, oluşturmayacağı Ishihara (1985) grafiği ile değerlendirilmiştir (Şekil 21).

Tablo 1. Yapı Temel Kazılarında Sıvılaştırılabilir Seviyeler

Temel kazı lokasyonu	SPT verileriyle (m) (0.33g depremi)	SPT verileriyle (m) (0.48g depremi)
Sümer Mahallesi	Sıvılaşma yok	(13.50-15.00)
Eskibağlar Mahallesi	(12.00-15.00)	(7.50-15.00)
Yeniabağlar Mahallesi	(7.00-8.00)	(7.00-15.00)
Vişnelik Mahallesi	(6.00-7.50)-(9.50-15.00)	(5.00-15.00)
Şarhöyük Mahallesi	Sıvılaşma yok	(8.50-11.50)



Şekil 21. Ishihara (1985) Abaşının İle Temel Kazılarına Uygulanması.

1 no'lu temel kazısının olduğu Sümer mahallesi incelemesinde $a_{max}=0.33$ g deprem senaryosunda sıvılaşma oluşmamaktadır. Aynı temel kazısında $a_{max}=0.48$ g gerçekleşmesi durumunda 13.5 m-15.0 m arasında sıvılaşma oluşabileceği belirlenmiştir. Ishihara(1985) grafiğine bakıldığında 1.5 m lik sıvılaşan bir seviyenin yüzey deformasyonu oluşturmaması için en az 3.75 m kalınlıktan az örtü tabakası olması gerekmektedir. 1 nolu temel kazısında ise örtü tabakası 13.5 m. dir. Sonuçta bu temel kazısında $a_{max}=0.48$ g deprem senaryosu gerçekleşmesi durumunda yüzey deformasyonu oluşmayacaktır.

2 no'lu temel kazısının olduğu Eskibağlar mahallesi incelemesinde $a_{max}=0.33$ g deprem senaryosunda 12.0 m-15.0 m ler arasında sıvılaşma oluşmaktadır. Yüzey deformasyonu oluşması için 5 m den az örtü tabakası olmalıdır. Örtü tabakasının kalınlığı 12 m olduğu için yüzey deformasyonu beklenmemektedir. Aynı temel kazısında $a_{max}=0.48$ g gerçekleşmesi durumunda 7.5 m-15.0 m arasında sıvılaşma oluşabileceği belirlenmiştir. Ishihara(1985) grafiğine bakıldığında 7.5 m lik sıvılaşan bir seviyenin yüzey deformasyonu oluşturmaması için en az 9.25 m kalınlıktan az örtü tabakası olması gerekmektedir. 2 nolu temel kazısında ise örtü tabakası

7.5 m dir. Sonuçta bu temel kazısında $a_{max}=0.48$ g deprem senaryosu gerçekleşmesi durumunda yüzey deformasyonu oluşacaktır.

3 no'lu temel kazısının olduğu Yeniabağlar mahallesi incelemesinde $a_{max}=0.33$ g deprem senaryosunda 7.0 m-8.0 m ler arasında sıvılaşma oluşmaktadır. Yüzey deformasyonu oluşması için 1.8 m den az örtü tabakası olmalıdır. Örtü tabakasının kalınlığı 7 m olduğu için yüzey deformasyonu beklenmemektedir. Aynı temel kazısında $a_{max}=0.48$ g gerçekleşmesi durumunda 7.0 m-15.0 m arasında sıvılaşma oluşabileceği belirlenmiştir. Ishihara (1985) grafiğine bakıldığında 8.0 m lik sıvılaşan bir seviyenin yüzey deformasyonu oluşturmaması için en az 9.5 m kalınlıktan az örtü tabakası olması gerekmektedir. 3 nolu temel kazısında ise örtü tabakası 7.0 m dir. Sonuçta bu temel kazısında $a_{max}=0.48$ g deprem senaryosu gerçekleşmesi durumunda yüzey deformasyonu oluşacaktır.

4 nolu temel kazısı Vişnelik mahallesi kazısıdır. Bu temel kazısında $a_{max}=0.33$ g durumunda 6-7,5 m arasında ve 9.5-15.0 m arasında sıvılaşabilir seviyeler belirlenmiştir. Ishihara (1985) abağına göre 6 m'lik sıvılaşabilir zeminin yüzey deformasyonu oluşturabilmesi için yaklaşık 6.2 m kalınlığından az örtü zemini gereklidir. Gerçekde ise sıvılaşabilir ilk 1.5 m üzerinde 6 m örtü zemini vardır. Ishihara (1985) abağı iki ayrı sıvılaşabilir zemine cevap vermemektedir. Bu deprem senaryosu ile yüzey deformasyonu beklenmemelidir. $a_{max}=0.48$ g durumunda ise 5.0 m-15.0 m arasında sıvılaşma eğilimli zemin belirlenmiştir. Ishihara (1985) grafiğine göre 10 m sıvılaşabilir zemin üzerinde yaklaşık 10 m kalınlığında sıvılaşabilir örtü tabakası olması durumunda yüzey deformasyonu beklenmemelidir. Gerçekde ise 5 m kalınlıkta örtü seviyesi vardır. Bu durumda 4 nolu temel kazısında $a_{max}=0.48$ g depremi gerçekleşmesi durumunda yüzey deformasyonu gerçekleşecektir.

5 nolu temel kazısı Şarhöyük mahallesi kazısıdır. Bu temel kazısında $a_{max}=0.33$ g deprem senaryosunda 6.5 m-7.0 m arasında sıvılaşma oluşacaktır. Yüzey deformasyonu beklenmemektedir. Aynı temel kazısında $a_{max}=0.48$ g gerçekleşmesi durumunda 6.5 m-7.0 m ve 8.5m-11.5 m arasında sıvılaşma oluşabileceği belirlenmiştir. Ishihara (1985) abağı iki farklı seviyede sıvılaşma olması durumunda yüzey deformasyonu olup olmayacağına cevap vermemektedir. İki sıvılaşabilir seviyenin toplam kalınlığı 3.0 m olarak alınıp, tek seviye olarak kabul edilmesi durumunda, ilk sıvılaşan seviyenin üzerinde 6.5 m örtü vardır. Yüzey deformasyonu olmaması için yaklaşık 8.0 m örtü tabakası olması gerekmektedir. Sonuçta bu kabullenme ile temel kazısında $a_{max}=0.48$ g deprem senaryosu gerçekleşmesi durumunda yüzey deformasyonu oluşabilecektir. Çizelge 2'de Ishihara yöntemi ile yapılan analizler özetlenmiştir.

Tablo 2. Ishihara (1985) Abağına Göre Temel Kazılarında Yüzey Deformasyonu Tahmini.

Temel kazısı	$a_{max}= 0.33g$		$a_{max}= 0.48g$	
	Kapak zemin kalınlığı (m)	Yüzey deformasyonu	Kapak zemin kalınlığı (m)	Yüzey deformasyonu
Sümer ^a Mahallesi	-	yok	13.50	yok
Eskibağlar Mahallesi	12.00	yok	7.50	var
Yenibağlar Mahallesi	7.00	yok	7.00	var
Vişnelik Mahallesi	6.50	yok	5.00	var
Şarhöyük ² Mahallesi	6.50	yok	6.50	var

^aIshihara yöntemi 10 m'den derine uygulanamaz

^bTekrarlayan sivilaşan ve sivilaşmayan seviyelerin analizinde Ishihara yöntemi uygulanamaz

Güvenlik katsayısı FS'ye bağlı olarak yapılan sivilaşma hesaplamalarına ilave olarak sivilaşma indeksi (Is) (Iwasaki, Tokida, Tatsuoka, Watanabe, Yasudo ve Sato, 1982; Sönmez 2003); Sivilaşma olasılığı (P_L) (Chen ve Juang, 2000; Juang, Yuan, Lee, ve Ku., 2003; Lee, Ku ve Yuan., 2003) ve sivilaşma şiddeti indeksi (Ls) (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005) geliştirilmiştir. Tablo 3 de sivilaşma indeksi sınıflaması, Tablo 4 de sivilaşma olasılığına bağlı sınıflandırma ve Tablo 5 de sivilaşma şiddeti indeksi sınıflandırması verilmiştir. Tablo 6 da ise temel kazı alanlarında belirlenen Is, P_L ve Ls değerleri verilmiştir. 0.33g deprem senaryosunda Sümer Mah. ve Şarhöyük Mah. Sivilaşma beklenmemektedir. Yenibağlar ve Eskibağlar Mahallelerinde L_1 sınıfı "Düşük", "Orta" iken Vişnelik Mahallesi "Yüksek" L_1 değeri belirlenmiştir (Tablo 3). P_L değerine göre her üç mahallede "Sivilaşmaya yatkın" olarak belirlenmiştir (Tablo 4). LSI değerine göre ise Yenibağlar ve Eskibağlar Mahallelerinde LSI sınıfı "Düşük", "Orta" iken Vişnelik Mahallesi "Yüksek" LSI değeri belirlenmiştir (Tablo 5).

$a_{max}=0.48g$ deprem senaryosuna göre temel kazı alanlarının tamamında sivilaşma beklenmektedir. L_1 değeri Vişnelik mahallesinde "Çok yüksek" Eskibağlar ve Yenibağlar mahallelerinde "Yüksek", Sümer ve Şarhöyük mahallelerinde "Düşük" olarak belirlenmiştir (Tablo 3). P_L değerlerine göre Şarhöyük ve Sümer mahalleleri "Orta", Eskibağlar mahallesi "Yüksek" ve Vişnelik, Yenibağlar mahalleleri "Hemen hemen kesin sivilaşır" sınıflaması içindedir (Tablo 4). LSI değerlerine göre Sümer ve Şarhöyük mahalleleri "Düşük", Yenibağlar, Eskibağlar ve Vişnelik mahalleleri "Orta" olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 5).

Tablo 3. Sivilaşma İndeksi Sınıflandırması (Sönmez, 2003)

Sivilaşma indeksi (L_1)	Sınıflandırma
0	Sivilaşma yok ($FL \geq 1.2$)
$0 < L_1 \leq 2$	Düşük
$2 < L_1 \leq 5$	Orta
$5 < L_1 \leq 15$	Yüksek
$L_1 \geq 15$	Çok yüksek

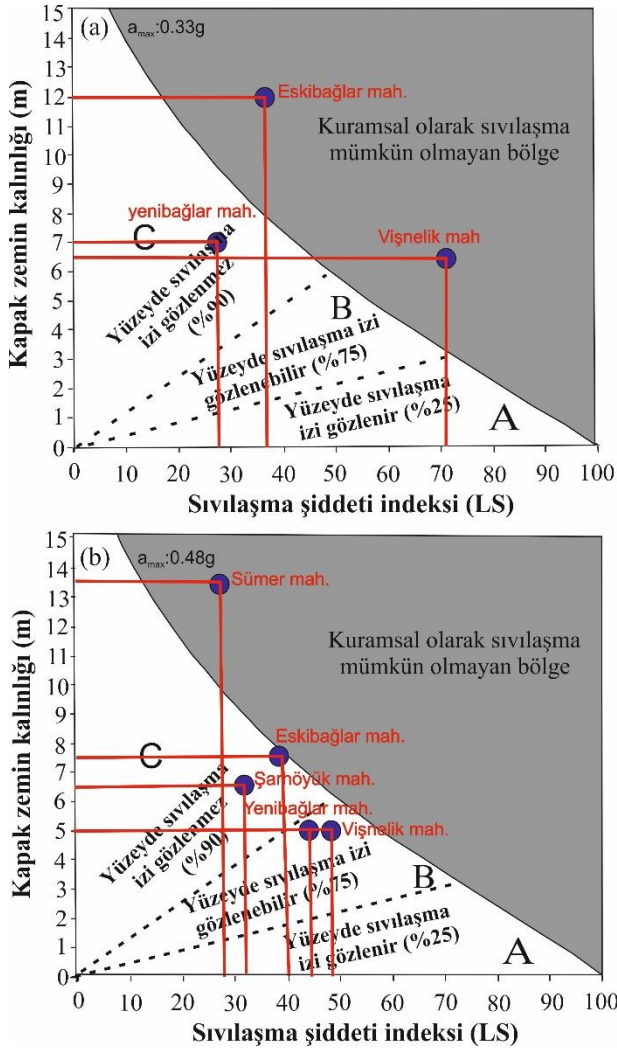
Tablo 4. Chen ve Juang (2000) Tarafından Önerilen Sivilaşma Olasılığına Bağlı Olarak Sivilaşabilirliği Tanımlamaları.

Olasılık (P_L) aralığı	Tanımlama	Güvenlik katsayısı (FL) aralığı
$0.85 \leq P_L < 1$	Hemen hemen kesinlikle sivilaşır	$0.653 \geq FL > 0.000$
$0.65 \leq P_L < 0.85$	Sivilaşmaya yatkın	$0.837 \geq FL > 0.637$
$0.35 \leq P_L < 0.65$	Sivilaşabilir/Sivilaşmaz	$1.102 \geq FL > 0.837$
$0.15 \leq P_L < 0.35$	Sivilaşmamaya yatkın	$1.411 \geq FL > 1.102$
$0.00 \leq P_L < 0.15$	Hemen hemen kesinlikle sivilaşmaz	$\infty \geq FL > 1.411$

Tablo 5. Sonmez ve Gökçeoğlu (2005) Tarafından Önerilen Sivilaşma Şiddeti İndeksi Sınıflaması.

LSI aralığı	Tanımlama
$85 \leq LSI < 100$	Çok yüksek
$65 \leq LSI < 85$	Yüksek
$35 \leq LSI < 65$	Orta
$15 \leq LSI < 35$	Düşük
$0 < LSI < 15$	Çok düşük
$LSI = 0$	Sivilaşmaz

Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) çalışmalarında sivilaşmanın yer yüzeyindeki etkilerini tahmin etmek için bir abak önermiştir. Arazi gözlemlerine göre abak A zonu (%90), B zonu (%75) ve C zonu (%25) olarak 3 zona ayrılmış ve hiç vaka gerçekleşmeyen zon ise sınırlanmıştır. Şekil 22 a ve 22 b'de SPT verileriyle 0.33g ve 0.48g ivmeli deprem senaryolarında yer yüzeyinde sivilaşmanın deformasyonun tahmini görülmektedir. 0.33g deprem senaryosunda Sümer mahallesi ve Şarhöyük mahallesinde sivilaşma gerçekleşmeyecektir. Yenibağlar mahallesinde 0.33g deprem senaryosunda sivilaşma deformasyon izi yüzeyde beklenmemektedir. Eskibağlar ve Vişnelik mahallelerinde ise sivilaşma beklenmemektedir (Şekil 22a). 0.48g depremi senaryosuna göre Vişnelik ve Yenibağlar mahallelerinde yüzeyde sivilaşma deformasyonu beklenmemektedir. Şarhöyük ve Eskibağlar mahallelerinde yüzeyde sivilaşma deformasyonu beklenmezken, Sümer mahallesinde sivilaşma beklenmemektedir.



Şekil 22. Sivilaşmanın Yüzeyle Varlığını Tahmin Eden Abakla Bu Çalışmanın Değerlendirilmesi (Sönmez ve Gökçeoğlu, 2005) (a) SPT Verileriyle $a_{max}=0.33g$ Depremi Senaryosu (b) SPT Verileriyle $a_{max}=0.48g$ Depremi Senaryosu.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Eskişehir ili sınırlarında 5 adet farklı derinliklerde açılmış temel kazılarında eski sivilaşma varlığı araştırılmıştır. Şarhöyük ve Vişnelik mahallelerindeki temel kazılarında bulunan çok küçük sivilaşma emareleri (kum merccekleri) dışında belirgin kum sokulumu ve benzeri oluşumlar diğer kazılarda bulunamamıştır.

Temel kazılarında araştırma amaçlı açılan sondaj verileri ve laboratuvar deneyleri sonuçları ile sivilaşma analizleri ve yüzey deformasyon ihtimalleri araştırılmıştır. Temel kazılarında yeraltısu 2 m ile 7 m derinlikler arasında değişmektedir. Açılan sondajlarda ve temel kazılarında yüzeyden itibaren siltli kil, killi siltli kum, siltli kum zeminler, 9 m veya 10 m'den sonra sıkı çakıllı litolojiye dönüşmektedir. Sondaj kuyularında SPT deneyleri yapılmıştır. SPT örneklerinden zemin index deneyleri yapılmıştır.

Sivilaşma analizleri 1956 yılında olmuş 6.4 Mw büyüklüğünde gerçekleşen depremin oluşturduğu $a_{max}=0,33g$ ivme değeri ile Eskişehir ili içerisinde geçen yaklaşık 40 km uzunluğundaki Çukurhisar-Sultandere fayının tek seferde kırılabilmesi ve $a_{max}=0,48g$ ivme oluşturabileceği deprem senaryoları ile gerçekleştirilmiştir. 0.33g ivme ile oluşacak bir deprem senaryosunda Şarhöyük ve Sümer mahallelerinde sivilaşma belirlenmemiştir. Yenibağlar ve Eskibağlar Mahallelerinde sivilaşabilir tek seviye belirlenirken, Vişnelik mahallesinde birbirinden bağımsız iki farklı sivilaşabilir seviye belirlenmiştir. 0.48g ivme ile oluşacak deprem senaryosunda tüm temel kazı sahalarında sivilaşan seviyeler belirlenmiş ve bu seviyelerin kalınlıklarının 0.33g deprem senaryosuna göre arttığı görülmüştür.

Ishihara (1985) grafiğine göre 0.33g deprem senaryosunda Eskibağlar, Yenibağlar ve Vişnelik mahallelerinde yüzey deformasyonu olmayacaktır. 0.48g deprem senaryosunda ise Sümer Mahallesi temel kazısı hariç diğer temel kazısı alanlarında yüzey deformasyonu beklenmektedir.

Sönmez ve Gökçeoğlu (2005)'nin Sivilaşma Şiddeti İndeksi-Kapak zemin Kalınlığı (m) abakına göre 0.33g deprem senaryosunda, Yenibağlar Mahaltesinde deformasyon izi yüzeyde beklenmemektedir. Eskibağlar ve Vişnelik mahallelerinde ise sivilaşma beklenmemektedir (Şekil 22a). 0.48g depremi senaryosuna göre Vişnelik ve Yenibağlar mahallelerinde yüzeyde sivilaşma deformasyonu beklenmektedir. Şarhöyük ve Eskibağlar mahallelerinde yüzeyde sivilaşma izi beklenmezken, Sümer mahallesinde sivilaşma beklenmemektedir.

Bu çalışmada incelemeye alınan 5 ayrı temel kazısında geçmişte oluşmuş sivilaşma belirti izleriyle karşılaşmamıştır. Geçmiş depremlerde sivilaşma gerçekleşmemiştir sonucunu ifade etmek için bu çalışma çok yetersizdir. Yapılan tüm kazılar incelenmelidir. Çukurhisar-Sultandere arasında yaklaşık 40 km uzunluğundaki fayın ayrıntılı çalışılması gerekmektedir. Fayın aktivitesi, tek seferde kırılma olasılığı, tekrarlama aralığı ve Eskişehir'e oluşturabileceği risk belirlenmelidir. Alüvyon çökelimleri üzerinde yer alan Eskişehir ili yerleşim alanı için ayrıntılı mikrobölgeleme çalışmalarına öncelik verilmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2015-669 "Eskişehir Kenti Tepebaşı İlçesinde sivilaşma riski varlığının analizi ve Menard presiyometre deneyinin sivilaşma analizlerinde kullanılabilirliğinin araştırılması" projesi kapsamında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

Araştırmacıların Katkısı

Makale tek yazarlıdır.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akin, M., Ozvan, A., Akin, M. K., & Topal, T. (2013). Evaluation of liquefaction in Karasu River floodplain after the October 23, 2011, Van (Turkey) earthquake. *Natural hazards*, 69, 1551-1575. DOI: 10.1007/s11069-013-0763-2

Altunel, E. ve Barka, A. (1997). "Eskişehir fay zonunun deprensellik aktivitesi bu zon üzerinde meydana gelen depremlere ait yüzey kırıklarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi". Eskişehir Osmangazi Üniversitesi araştırma fonu projesi no:96/24

Aydan, Ö., Sezaki, M. & Yazar, M. (1996). The seismic character of Turkish Earthquakes. 11th World Conference of Earthquake Engineering Accapulco, Mexico, CD-2, 1025.

Ayday, C., Altan, M., Nefeslioğlu A.H., Cangür, A., Yeral, S. ve Tün, M. (2011). "Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Eskişehir Yerleşim Yerinin yerleşim amaçlı jeoloji ve jeoteknik etüt raporu", Anadolu Üniversitesi Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü, Eskişehir.

Chen, C.J. & Juang, C.H. (2000). Calibration of SPT- and CPT-based liquefaction evaluation methods. In: Mayne, P.W., Hryciw, R. (Eds.), Innovations and Applications in Geotechnical site Characterization. Vol. 97. Geotechnical Special Publication, ASCE, Reston, pp. 49-64.

Cox, R.T, Christopher, D., Yanjun, H. & Shanon, A.M. (2014). Use of small scale liquefaction features to asses paleoseismicity: an example from the saline river fault zone, Southeast Arkansas. *Frontiers in earth science*, Vol:2:31, USA. <https://doi.org/10.3389/feart.2014.00031>

Doyuran, V., Koçyigit, A., Yazıcıgil, H., Karahanoğlu, N., Toprak, V., Topal, T. ve Yılmaz, K. K. (2000). Yenişehir Belediyesi Yerleşim Alanı Jeolojik/Jeoteknik İncelemesi. *METU Project*, 99-03.

Gözler, M.Z., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, H.J. (1996). Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi, MTA Rapor No: 9973, 87 s., Ankara.

Ishihara, K. (1985). Stability of natural deposits during earthquakes. Proceedings of the 11th International Conference on Soil mechanics and Foundation

Engineering, San Fransisco, CA, A.A. Balkema, Rotterdam vol. 1, 321-376.

Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. & Sato, H. (1982). Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Microzonation, Seattle. vol. 3. pp. 1319-1330

Juang, C.H., Yuan, H., Lee, Der-Her. & Ku, C.S. (2002). Assessing CPT-based methods for liquefaction evaluation with emphasis on the cases from the Chi-Chi, Taiwan, earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 22, 241-258. [https://doi.org/10.1016/S0267-7261\(02\)00013-1](https://doi.org/10.1016/S0267-7261(02)00013-1)

Kanaori, Y., Kawakami, S. I., Yairi, K. & Hattori, T. (1993). Liquefaction and flowage at archaeological sites in the inner belt of central Japan: tectonic and hazard implications. *Engineering Geology*, 35(1-2), 65-80. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(93\)90070-S](https://doi.org/10.1016/0013-7952(93)90070-S)

Kayabasi, A. & Gokceoglu, C. (2018). Liquefaction potential assessment of a region using different techniques (Tepebasi, Eskişehir, Turkey). *Engineering geology*, 246, 139-161. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.09.029>

Koyuncu, N.P. (2001). "Eskişehir il merkezindeki birimlerin jeo-mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesi ve mühendislik jeolojisi haritalarının hazırlanması", Yüksek Mühendislik Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

Lee, Der-Her., Ku, C.S. & Yuan, H. (2003). A study of the liquefaction risk potential at Yuanlin, Taiwan. *Engineering Geology* 71 (1-2), 97-117. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(03\)00128-5](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(03)00128-5)

Port Harbour Research Institute, 1997, Handbook of Liquefaction Remediation of Reclaimed Land, A.A. Balkema, Rotterdam, 312 p.

Seed, H. B. & Idriss, I. M. (1982). Ground motion and soil liquefaction during earthquakes, *Earthquake Engineering Research Insititute Monograph Series*, 134 p.

Seed, H.B., Tokimatsu, L.F., Harder, M. & Chung, R.M. (1985). Influence of SPT procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations, *Jornal of Geotechnical Engineering*, 111, 12, pp. 1425-1445. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1985\)111:12\(1425\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1985)111:12(1425))

Seed, HB., Woodward, R.J. & Lundgren, R. (1964). Fundamental Aspects of the Atterberg Limits. *J Soil Mech Found Div, ASCE*,90(SM6):75-105

- Seyitoğlu, G., Ecevitoglu, G.B., Kaypak, B., Güney, Y., Tün, M., Esat, K., Avdan, U., Temel, A., Çabuk, A., Telsiz, S. & Uyar Adlaş, G.G. (2015). "Determining the main strand of the Eskişehir strike-slip faultzone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies" Turkish J Earth Sci. 24: 1-20. doi:10.3906/yer-1406-5. <http://dx.doi.org/10.3906/yer-1406-5>
- Sonmez, H. (2003). Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey). Environ. Geol. 44 (7), 862-871. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0831-0>
- Sönmez, H. & Gökçeoğlu, C. (2005) "A liquefaction severity index suggested for engineering practice", Environmental Geology, 48, 81-91. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-1263-9>
- Ocakoğlu, F. (2007). A re-evaluation of the Eskişehir Fault Zone as a recent extensional structure in NW Turkey. J. Asian Earth Sci. 31, 91-103. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2007.05.002>
- Ocakoğlu, F. & Açıklın, S. (2009). Late Pleistocene fault induced uplift and consequent fluvial response in Eskişehir Fault Zone NW Anatolia. Z. Geomorphol. 53 (1), 121-136. <https://doi.org/10.1127/0372-8854/2009/0053-0121>
- Ocakoğlu, F. & Açıklın, S. (2010). "Field evidences of secondary surface ruptures occurred during the 20 February 1956 Eskişehir earthquake in the NW Anatolia" J. Earth Syst. Sci. 119, No. 6, pp. 841-851. <https://doi.org/10.1007/s12040-010-0057-y>
- Wasti, Y. ve Ergun, U. (1985). Zeminlerin Şişme Davranışı, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Semineri, DSİ Genel Müdürlüğü TAK Dairesi Başkanlığı, Sayfa 11:1-17. ADANA
- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. & Stokoe, K.H. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluations of liquefaction resistance of soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE 127:(10), 817-833. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:10\(817\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:10(817))

DEVREKANI (KASTAMONU) YÖRESİ KROM CEVHERLEŞMELERİNİN GENEL JEOLÖJİK ÖZELLİKLERİ

Hüseyin SENDİR^{1*}, Metehan KELEŞ²

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-7252-7117>

² Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü, Kastamonu,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-9885-6784>

Anahtar Kelimeler	Öz
Devrekani Ofiyoliti Dunit Podiform tip Kastamonu	<i>Araştırma alanı, yaklaşık 15 kilometrekarelik bir alanda, Kastamonu E31-c3 paftası içerisinde. Söz konusu alan, halen çok tartışmalı bir konu olan Orta Pontidler'de yer almaktadır. Kastamonu'nun Devrekani ilçesindeki boninitik kromit yatakları, Devrekani ofiyolit zonu boyunca serpantinleşmiş tektonit dunitler içinde bulunur. Araştırma alanındaki ofiyolitik birimlerin üzerinde açık bir şekilde konumlanmış olan Gnays ve mermerlerden oluşan Devrekani ofiyoliti, Malm öncesi yaşadadır. Taban kesimleri, Gürleyik gnaysı olarak isimlendirilmiş olup amfibol gnays ve gnayslardan oluşmaktadır. Tavan kesimleri dolomit, dolomit kalsit-mermer ve kalsit mermerlerden oluşan Başakpınar metakarbonatı olarak isimlendirilmiştir.</i>

GENERAL GEOLOGICAL PROPERTIES OF CHROMIUM MINERALIZATIONS in DEVREKANI (KASTAMONU) REGION

Keywords	Abstract
Devrekani Ophiolite Dunite Podiform Type Kastamonu	<i>The study area covers a total area of approximately 15 square kilometres within the Kastamonu E31-c3 map. This region is located in the Central Pontides, which is still a very controversial issue. The boninitic chromite deposits in Devrekani district of Kastamonu are located in serpentinised tectonite dunitites along the Devrekani ophiolite zone. The Pre-Malm aged Devrekani metamorphite, which is clearly positioned above the ophiolitic units in the study area, consists mainly of gneisses and marbles. The lower layers of the unit are named Gürleyik gneiss consisting of gneiss and amphibole gneiss. The upper levels are named as Başakpınar metacarbonate consisting of calcite marble, dolomite-calcite marble and dolomite.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi

: 13.06.2024

Submission Date

: 13.06.2024

Kabul Tarihi

: 10.07.2024

Accepted Date

: 10.07.2024

*Sorumlu yazar: hsendir@ogu.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1500576>

1.Giriş

Bu çalışma, Devrekani Ofiyolitlerinde bulunan podiform tip krom cevherlerinin ana kayasını oluşturan kaya birimlerinin incelenmesini amaçlamaktadır. Bu cevherler Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı ofiyolitik seriler içerisinde bulunmaktadır. Çoğunlukla düz bir morfolojiye sahip Devrekani ve çevresi, metamorfitletlerin bulunduğu alanlarda engebeli bir hal almaktadır. Bölgedeki önemli yükseltiler Akkuşköy Tepe (1157m), Türbe Tepe (1315m), Çiğdem Tepe (1187m), Gümüş Tepe (1266m), Osmanbey Çam Tepe (1225m), Yukarıbüyük Tepe (1343m), Kalbucugüneyi Tepe (1220m), Kaynarca Tepe (1337m) ve Yaylacıktürbe Tepe'dir (1371m) (Şekil 1). Araştırma bölgesi içinde ve çevresinde hem jeolojik hem de kromit oluşumları ile

ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır. Devrekani Ofiyoliti bazı yayınlarda Ebrek Metamorfiti ve Çangal Metaofiyoliti olarak da anılmaktadır. Ofiyolit içindeki serpantinlerin peridotit kökenli olduğu belirlenmiştir (Aydın ve diğ., 1986; Eren, 1979; Güner, 1980; Şengün ve diğ., 1988; Yılmaz, 1979). Bölgedeki kayaçlar 12 farklı litolojik birime ayrılmıştır. Bunlardan Kastamonu granitoid kuşağına ait ve Orta Jura yaşlı olan Kürek granitoidi esas olarak granit, granodiyorit ve kuvarsmonzonit gibi derinlik kayaçlarından oluşmaktadır. Ayrıca kuvarsolit, apilit ve mikrodioritten oluşan damar kayaçları da bulunmaktadır (Boztaş 1988; Boztaş ve Yılmaz, 1995). Bölgede Palaeotetis okyanusal havzasının iki kalıntısı olduğu keşfedilmiştir. Küre ofiyolitinin kökeni, bir yitim zonunda oluştuğunu



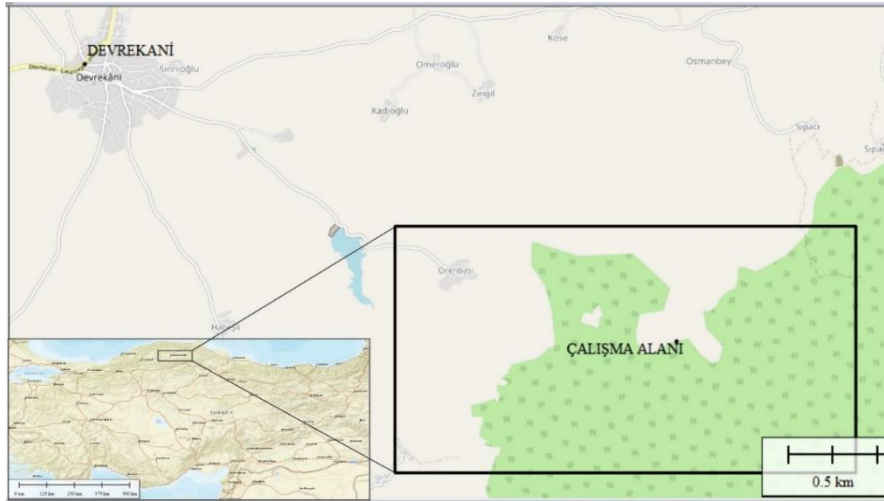
Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

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

gösteren jeokimyasal verilerin analizi yoluyla belirlenmiştir. Bu sonuç Şengün ve diğ. (1990); Ustaömer ve Robertson, (1993, 1994, 1997) tarafından yapılan çalışmalarla da desteklenmiştir. Devrekani ofiyolitlerini kesen granitoidlerin yaşı K/Ar tekniği kullanılarak 311 ± 6.2 milyon yıl olarak belirlenmiştir ki bu yaş da Üst Karbonifer dönemine karşılık gelmektedir. Ayrıca, gnayslarda yapılan Ar-Ar analizlerine göre 146-151 milyon yıllık bir soğuma yaşı ortaya konulmuştur. Bu veri gnaysların Orta Jura döneminde ortaya çıktığını göstermektedir (Aydın, Demir, Özçelik, Satır ve Terzioğlu, 1995; Okay ve diğ., 2014). Orta Pontidler'deki temelin çoğunluğu Palaeotetis komplekslerinden oluşmaktadır. Devrekani Metamorfileri, Batı Pontidler'de yer alan İstanbul Zonguldak zonunun temelinin oluşturmaktadır (Yılmaz, Genç, Şengör, Tüysüz ve Yiğitbaş, 1997; Ustaömer ve Robertson 1999). Orta

Pontidler, Lavrasiyen kıta kabuğunun Kretase ve Triyas dönemlerinde meydana gelen dalma-batma olayları nedeniyle güneye doğru genişlediğini gösteren biyostratigrafik, izotopik ve petrolojik veriler sağlamıştır.

Ayrıca, bölgede Malmiyen döneminden önceye ait eski bir temelin yanı sıra Malmiyen-Lütesiyen aralığı, Oligosen, Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner dönemlerine ait tortul katmanların bulunduğu tespit edilmiştir (Okay ve diğ., 2006; Uğuz ve Sevin, 2007). Elekdağ ofiyolit birimlerinde bulunan harzburjitler ve serpantinleşmiş dunitlerde krom cevherleşmesinin varlığı keşfedilmiştir (Dönmez ve diğ., 2013). Devrekani ofiyolit birimleri içindeki kromitlerin %54,80 ile %56,70 arasında değişen krom oksit seviyelerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Sendir ve Keleş, 2020).



Şekil 1. Çalışma Alanını Gösteren Yerbulduru Haritası.

2. Materyal ve Metot

Çalışma alanı Kastamonu E31-c3 paftası içerisinde yer alan yaklaşık 15 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Bölgenin birimleri litostratigrafik esaslara göre ayrılan ve bir önceki jeoloji haritasında değişiklikler yapılarak 1/10000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır.

Saha çalışmaları ile toplanan örnekler, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü petrografi laboratuvarlarında ince kesit hazırlama işlemine tabi tutulmuştur. Kayaç tanımlamaları daha sonra polarize mikroskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Jeolojik Özellikler

Çalışma alanı, doğu-batı yönünde uzanan Rodop Pontid parçasının içinde yer almakta ve Karadeniz ile kuzeyden sınırlanmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1983). Güney bölgesinde, 'Kristalin Şist Masifleri'nden oluşan ve 'Ana Sırt' olarak bilinen yüksek bir yeryüzü şekli bulunmaktadır (Blumenthall, 1940). Araştırma

bölgesinde, Triyas-Liyas dönemine ait ofiyolitler ve bu ofiyolitlerin epi-ofiyolitik örtüsü (Akgöl Formasyonu), bu örtünün metamorfik eşdeğerini temsil ettiğine inanılan Bekirli Formasyonu üzerine kuvvetli bir şekilde itilmiştir. Kıtasal kabuktan gelen metamorfik kayalar olan Devrekani Metamorfileri, okyanusal kabuk üzerine kuvvetli bir şekilde itilmiştir. Erken Dogger döneminde oluşan kayalar tektonik güçler tarafından bir araya getirilmiştir. Daha sonra Dogger dönemine ait granitoidler tarafından kesilmiş ve Malm'dan başlayıp Lütesiyen dönemine kadar devam eden tortul tabakalar tarafından örtülmüştür (Uğuz ve Sevin 2007) (Şekil 2 ve 3). Bölgedeki temel kayaların büyük ölçüde otokton kısmını oluşturan Bekirli Formasyonu, çoğunlukla sedimanter fillit, şist, gnays ve kalkosit, mermer, metaserpantin, metadiyabaz, metagabro ve metaçört gibi çeşitli kayaç türlerinden oluşur (Eren 1979; Yılmaz ve Tüysüz, 1984). Mesozoyik yaşlı ofiyolit, eklojit, peridotit, serpantin ve gabro içeren ultramafit ile diyabaz, bazalt lavı, çört, radyolarit ve çamurtaşından oluşmaktadır (Aydın ve diğ., 1986; Eren 1979; Ketin 1962; Kovenko, 1939; Şengün ve diğ., 1988, 1990;

Yılmaz 1979). Elek Dağı'nda tespit edilen baskın litoloji serpantinittir. Serpantinit karakteristik bir yeşil renk sergiler ve taze yüzeyinde yağlı bir parlaklık gösterirken, altere yüzeyleri mat, siyahımsı kahverengimsi bir pas rengindedir. Serpantinlerde kesme düzlemleri boyunca yapraklanma gelişmiştir. Elek dokusunun varlığı, sıklıkla kromit mineralizasyonu da içeren serpantinlerde yaygın bir durumdur. Tipik ofiyolit taban dokanağı tektoniktir. "Bekirli Formasyonu" güneye doğru basınca maruz kalarak güney, güneybatı-kuzey, kuzeydoğu doğrultusunu izleyen Elek Dağı yükselimi boyunca güneye doğru itilmesine neden olur. Jeolojik formasyonun üst katmanları lav çökellerinden pelajik çökellere geçiş gösterir. Bu birimler daha sonra epiofiyolitik "Akgöl Formasyonu" tarafından geçişli bir şekilde örtülür, bileşimi kayraktaşı, fillit, şeyl ve kumtaşından oluşmaktadır (Ketin ve Gümüş, 1963). Devrekani metamorfizminin ana bileşenleri ağırlıklı olarak gnays ve mermerlerdir (Şekil 4). Birimin alt seviyelerini gnayslar, amfibol gnayslar, amfibolitler, üst seviyelerini ise yoğunlaşmış kalsitli mermer, dolomit-kalsit mermeri ve dolomitler oluşturmaktadır (Aydın ve diğ., 1995; Blumenthall, 1948; Ketin, 1962; Şengün ve diğ., 1990; Yılmaz, 1979, 1980; Yılmaz ve Tüysüz, 1984). Kastamonu granitoidi, Dikmen Dağı, İmranlı Mezrası, Kayran Sırtı ve Devrekani'yi çevreleyen alanlarda bulunur. Bu jeolojik oluşumun bileşimi mikrogranit, granodiyorit ve tonalit gibi birçok magmatik kayalık türünü içermektedir (Boztaş ve diğ., 1988). Porfirik bir dokudan taneli bir dokuya doğru ilerlemeyi gösteren yapılar sergiler. Birimin yaşı (K/Ar) yaşlandırması kullanılarak kullanılarak 175+3 milyon yıl (my) (Dogger) bulunmuştur (Aydın ve diğ., 1995). Bürnük Formasyonu çoğunlukla karasal çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşı dizisinden oluşmaktadır (Ketin ve Gümüş, 1963). Birim, belirgin bir kırmızı renk tonu ile karakterize edilir ve yüzeyleyen alanların çoğunda önemli ve karmaşık bir tortul çökelden oluşur. Birim, granitoidler tarafından kesilen düşük metamorfik bir taban ile uyumsuz bir ilişki sergilemektedir. Esas olarak neritik-şelf kireçtaşlarından oluşan İnaltı Formasyonu bu birimin üzerine gelmektedir (Geiss, 1954; Kirk, 1935; Kovenko, 1939; Lucius, 1925; Pilz, 1937; Yılmaz, 1979).

Ulus Formasyonu çoğunlukla kumtaşı, siltaşı, şeyl ve az miktarda çakıltısından oluşur (Gümüş, 1966; Ketin, 1965; Kovenko, 1939). Kumtaşı, siltaşı, kiltası, kumlu kireçtaşı, kireçtaşı bloklu çakıltası ardalanması ve volkanik ara katmanlardan oluşan Cankurtaran Formasyonu bu birimi üzerler (Badgley, 1959, Gedik ve diğ., 1981). Birimin alt kesimleri, esas olarak bazaltik-andezitik lavlar, tüfler ve aglomeralardan oluşan bir volkanik bileşeni içerir (Gümüş, 1963). Lavlar ağırlıklı olarak bazalt ve bazaltik andezitten oluşmaktadır. Tüfler ve aglomeralar lavlardan daha yaygındır ve ince kumtaşı, siltaşı ve şeyl tabakalarından oluşur. Kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn, kiltası, siltaşı ve kumtaşı ile

volkanik ara katmanlardan oluşan Akveren Formasyonu bu birimin üzerine gelmektedir (Badgley, 1959, Ketin ve Gümüş, 1963). Akveren Formasyonu, üstten ve alttan Atbaşı formasyonu ile geçişlidir (Gedik ve Korkmaz, 1984). Birim, Ketin ve Gümüş tarafından 1962 yılında tanımlandığı gibi, kireçtaşı ara katmanlı mor marn ve şeyllerden oluşmaktadır. Kusuri Formasyonu bu birimin hemen üzerinde yer almaktadır. Ardalanmanın bileşimi gri marn, kumtaşı ve krem renkli kireçtaşı katmanlarını içerir (Badgley, 1959). Yamaç molozları ve konglomeratik seviyeler Kuvaterner birimleri göstermektedir. Bölgedeki önemli sıkışma nedeniyle, yaklaşık doğu-batı yönelimli yapısal eğilimler gelişmiştir. Senklinal-antiklinal eksenler ve stratigrafik eğilimler doğu-batı yönelimlidir. Araştırma alanındaki birincil jeolojik fay, Kastamonu-Taşköprü-Boyabat havzasının kuzey sınırını oluşturan Ekinveren fayıdır. Yüksek açılı, normal veya ters fay olarak adlandırılmaktadır (Blumenthall, 1940; Gedik ve Korkmaz, 1984; Yılmaz ve Tüysüz, 1984). Araştırma bölgesinde, ofiyolit formasyonları içinde çok sayıda küçük faya rastlanabilmektedir. Bu fayların kırıkları tipik olarak serpantinleşmeye uğrar ve fay cevheri olarak bilinen küçük mineral konsantrasyonlarına yol açabilir. Akgöl formasyonu ve ofiyolitler, Bekirli formasyonu üzerine itilmiştir. Yaralgöz Dağı'nın güneyinde Devrekani metamorfiti, Musaderesi bindirmesi tarafından ofiyolitlere itilmiş durumdadır (Yılmaz, 1979). Devrekani metamorfiti güney ve doğu bölgelerdeki ofiyolitlerin üzerinde konumlanmış olup Kaynarca bindirmesi bir sınır görevi görmektedir (Şekil 5).

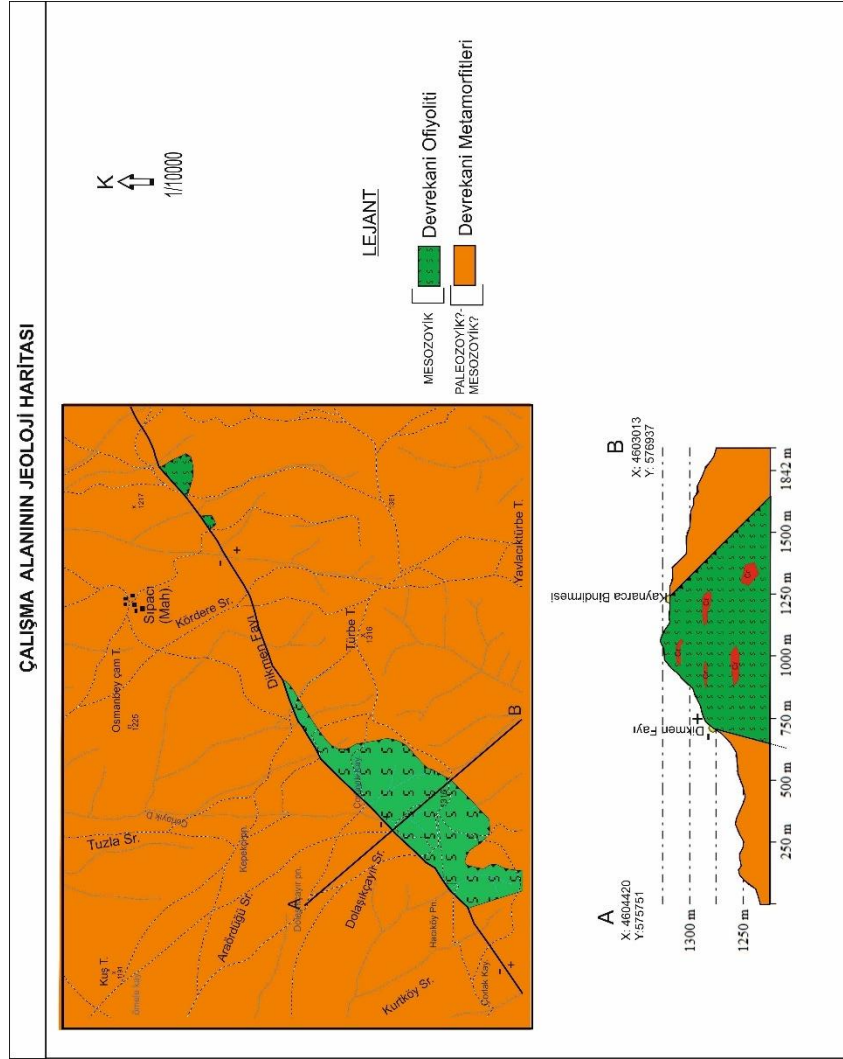
3.2. Petrografik Özellikler

İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağının kuzey kesiminde yer alan Devrekani ofiyolitleri, esas olarak manto serisinden peridotitlerden oluşur ve bunları diyabaz daykları keser. Bölgedeki baskın kaya türleri arasında serpantinleşmiş dunit, serpantinit ve harzburjitler bulunmaktadır. Peridotitler genellikle ya kısmi ya da tam serpantinleşme gösterir. Dunitlerin açıkta kalan yüzeyi kahverengimsi-sarı bir renge sahipken, yakın zamanda kırılan yüzey siyahımsı nefrit yeşili bir renk tonuna sahiptir.

Serpantinler çalışma alanında en yaygın kayalardır. Bunlar, ofiyolitik birimin temelini oluşturan peridotitik kayaların hidrotermal ve günlenme koşullarının etkisi altında oluşmuştur. Arazide, gözlemlenen yapı parçalanmış ve kırılmış görünmekte, koyu yeşil tonlar ve parlak, yağlı bir parlaklık sergilemektedir. Serpantin grubu mineraller egemendir. Krizotil ve antigorit gibi serpantin grubundan minerallerin yanı sıra manyezit ve diğer opak mineralleri de içerir. Talklaşma süreci sıklıkla gözlemlenir (Şekil 6).

ÜST SİSTEM		SİSTEM		FORMASYON		KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR			
SENOZOYİK		KUVATERNER					Akarsu çökeli-kıyı kumulu Eski akarsu çökeli DISKORDANS			
			TERSİYER		KUSURİ				Kumtaşı, silttaşı, kilttaşı Kumtaşı, marn, az çakilttaşı DISKORDANS	
				ATBAŞI				Kumtaşı, marn		
				AKVEREN				Kumtaşı, killi kireçtaşı, marn		
		MESOZOYİK		KRETASE		CANKURTARAN				Kumtaşı, kilttaşı, çakilttaşı volkanik ara düzeyler ve olistolitler
						KAPANBOĞAZI				Killi kireçtaşı, mikritik kireçtaşı, pelajik kireçtaşı çamurtaşı, çört
						ULUS				Kumtaşı, silttaşı, şeyl, çamurtaşı, kireçtaşı, kireçtaşı olistolitleri
						INALTI				Neritik kireçtaşı
				JURA		BÜRNÜK				Çakilttaşı, kumtaşı, çamurtaşı, kilttaşı, kireçtaşı
		PALEOZOYİK				DEVREKANI				Granitoid Kalsit mermer, dolomit mermer Mika gnays, amfibolit gnays, amfibolit DISKORDANS
PALEOZOYİK		JURA		AKGÖL				TEKTONİK Kayrak, filat, şeyl, kumtaşı.		
PALEOZOYİK		TRİYAS		AKGÖL				Peridotit, serpantin, metagabro, metadiyabaz ve bazaltik lav akıntısı.		
MESOZOYİK		JURA		BEKELİ				TEKTONİK Meta-silttaşı, filat, glokofanlı-granatlı şist..		

Şekil 2. Çalışma Alanının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti (Uğuz ve Sevin (2007)'den Düzenlenerek Yeniden Çizilmiştir).



Şekil 3. Çalışma Alanının 1/10.000 Ölçekli Jeoloji Haritası.



Şekil 4. Devrekani Metamorfittlerine Ait Gneyslerin Mostra Görünümü.



Şekil 5. Devrekani Ofiyolitinin Paleozoyik Yaşlı Devrekani Metamorfiteine Bindirme Zonu.



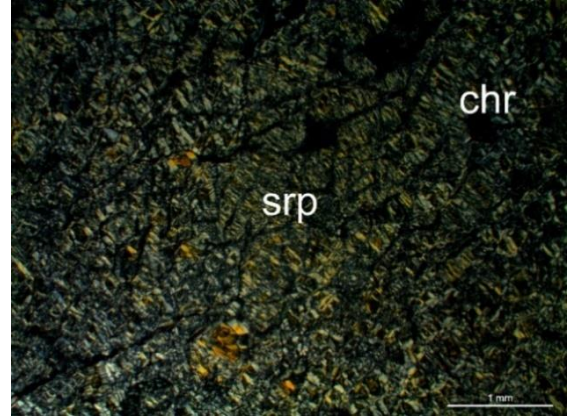
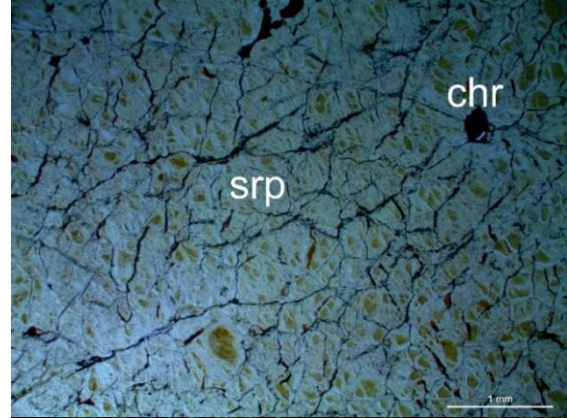
Şekil 6. Serpantinit İçerisindeki Çatlak ve Fay Kırıklarında Meydana Gelen Talklaşma.

Çalışma alanında yeşilimsi gri renk ile karakterize edilen dunitik kayalar bulunmaktadır. Altere yüzeyler ağırlıklı olarak sarı renktedir. Dunitlerin çoğunluğu serpantinleşme ve yoğun kırılma ile karakterize edilir (Şekil 7).



Şekil 7. Serpantinleşmiş Dunitlerden Bir Görünüm.

İnce kesitlerde serpantin grubu mineraller ve kahverengimsi-kırmızımsı renkte karakteristik kromit mineralleri belirlenmiştir. Mineral sınırları boyunca demir oksit bantlarının varlığını göze çarpmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Serpantinite Ait İncekesitin Tek-Çift Nikol Görüntüsü (srp: Serpantin; chr: Kromit).

Çalışma alanında, ofiyolitleri kesen dayk ve intrüzyonlar saha gözlemleri sırasında iki farklı biçimde tespit edilmiştir. İlki, belirgin bir yönelime ve tanımlanabilir minerallere sahip bir intrüzif kayadır. Açık bej rengindedir (Şekil 10, soldaki örnek). İkinci kategorideki dayklar ise diyabaz dayklarına çok benzeyen daha derin, gri-açık gri, sert ve afanitik dokulu birimlerden oluşmaktadır (Şekil 9, sağdaki örnek).

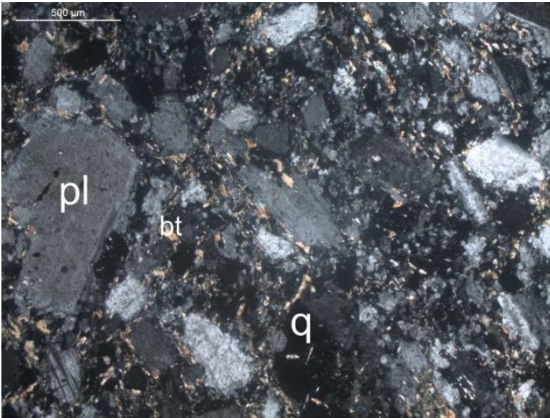


Şekil 9. Çalışma Sahasındaki Ofiyolitleri Kesen Dayk ve Sokulum Kayaçları.



Şekil 10. Peridotitler İçerisine Sokulum Yapan Dayklar ve Çevresinde Oluşturduğu Pişme Zonları.

Açık renkli intrüzif kayacın ana bileşenleri plajiyoklaz, biyotit, eser miktarda alkali feldispat, kuvars ve klorit minerallerinden oluşur (Şekil 11). Tipik olarak, polisentetik ikizlenme gösteren plajiyoklaz mineralleri ve basit ikizlenme gösteren alkali feldspatlar killeşme ve serisitleşmeye uğrar. Ayrıca, bazı plajiyoklaz minerallerinde serisitler gelişmiş ve muskovite dönüşmüştür.



Şekil 11. Serpantinize Peridotitleri Kesen Metadiyorit Porfire Ait İncekesitin Çift Nikol Görüntüsü (pl: Plajiyoklas; q: Kuvars; bt: Biyotit).

Ofiyolit istifinin tabanında bulunan ultramafik kompleks, okyanusal litosferin üst manto peridotitlerini temsil etmektedir. Harzburjitlerin günlenme yüzeyi oksitlenmeye bağlı olarak kızılımsı bej ya da kahverengimsi yeşil, taze kırık yüzeyi siyahımsı koyu yeşildir. Harzburjitlerdeki çıplak gözle seçilen bastılaşmış iri orta taneli piroksen kristalleri metalik sarı renklidir (Şekil 12).

4. Sonuç ve Öneriler

Birçok araştırmacı, çabalarını bölgedeki dalma-batma zonlarını ve ofiyolit oluşumlarını incelemeye adanmıştır. Okay ve diğerleri (2006) çalışmalarında, Orta Pontidler'den elde edilen veriler ışığında, Devrekani-Taşköprü-Boyabat (Sinop) bölgesi ile D-B kesimleri



Şekil 12. Serpantinleşmiş Harzburjit; Kırık Yüzeylerinde Ortopiroksenlerin Gözleendiği Mostra.

arasında Kretase ve Triyas dönemlerindeki yitim ve bunun kabuk kalınlaşması, yüksek basınç ve düşük sıcaklık metamorfizması ile ilişkisini incelemiştir. Orta Pontidlerden elde edilen biyostratigrafik, izotopik ve petrolojik veriler, Lavrasya kıtasal kabuğunun güney uzantısının Kretase ve Triyas dönemlerindeki dalma-batma sonucu oluştuğunu göstermektedir. Toplanan malzemenin çoğunluğu, altta yatan Tethys okyanus kabuğu ve manto kayaçlarını temsil eden metabazit, metaofiyolit ve mika şistten oluşan 75 km uzunluğunda ve 11 km kalınlığa kadar bir kabuk dilimi ile temsil edilmektedir.

Türkiye'de ofiyolit grubu kaya birimleri oldukça yaygındır ve doğru bir şekilde haritalanabilir. Bu birimler ülkemizin dağ oluşum kuşakları içinde yer almaktadır. Türkiye'de bulunan ofiyolit birimleri doğrudan Alpin Orojenisi ile ilişkilidir. Ofiyolitler çoğunlukla Üst Jura ve Kretase dönemleri boyunca oluşmuş olmakla birlikte, bugünkü yerlerini ağırlıklı olarak Üst Kretase'de almışlardır.

Bölgede bulunan kromit yatakları Alp tipi yatakların temsili örnekleridir. Kromitler, belirli alanlarda karlı bir şekilde işletilebilen mineral zengini bölgeler yaratmıştır. Tektonik kuvvetler nedeniyle bölgedeki kromit yatakları bir hat boyunca dizilmiş merceksi yataklar şeklinde bulunmaktadır. Açık ocaklarda, üretim aynalarında ve stok sahalarında yapılan incelemelere dayanarak, cevher kütlelerinin genellikle düzensiz kromit kristallerinden oluştuğu ve masif, yayılmış ve bantlı özellikler sergilediği gözlemlenmiştir. Tipik olarak, bu bölgedeki yataklarda bulunan kromit zenginleşmelerinin çoğunluğu yayılmış ve bantlı cevher türleri olarak sınıflandırılır. Nodüler (leopard) cevher türünün oluşumu oldukça seyrek. Araştırma bölgesinde, Triyas-Liyas dönemine ait ofiyolitler ve bu ofiyolitlerin epi-ofiyolitik örtüsü (Akgöl Formasyonu), bu örtünün metamorfik karşılığı olarak kabul edilen Bekirli Formasyonu üzerine kuvvetli itilirken, kıtasal kabuğun metamorfik kayaçları olan Devrekani Metamorfikleri de okyanusal kabuk üzerine itilmiştir.

Erken Dogger döneminde tektonik süreçlerle oluşan eski kayalar, Dogger yaşlı granitoidlerce kesilmiş ve daha sonra Malm ile başlayan ve Lütesiyen'e kadar uzanan bir dizi tortul tabaka tarafından örtülmüştür.

Bekirli Formasyonu, ofiyolit, Akgöl Formasyonu, Devrekani metamorfileri ve granitoidler olarak bilinen jeolojik birimler Malm öncesi döneme ait 'Eski Temel' olarak sınıflandırılmaktadır. Bu birimlerin üzerinde Bürnük Formasyonu, İnaltı Formasyonu, Ulus Formasyonu, Kapanboğazı Formasyonu, Cankurtaran Formasyonu, volkanit üyesi, Akveren Formasyonu, Atbaşı Formasyonu, Kusuri Formasyonu ve Ayancık Üyesi olarak adlandırılan ve 'Malm-Lütesiyen sedimanter örtü' olarak sınıflandırılan çökeller yer almaktadır.

Devrekani ofiyolit dilimi ultramafik tektonit grubu içinde yer almaktadır. Jeolojik olarak dunit, harzburgit, serpantin ve diyabaz dayklarından oluşur. Kromit yatakları büyüktür ve dunitik kaya katmanları içinde dağılmıştır.

Podiform kromit kütleleri ve mercikleri peridotitler içinde, yani dunitler ve dunit kılıflarında bulunur. Serpantinleşme, harzburgit, dunit ve peridotit daykların ara yüzeylerindeki çatlak ve yarıklarda belirgindir.

Çalışma alanında ağırlıklı olarak en yaygın kaya birimi serpantinlerdir. Oluşumları, ofiyolitik birimin temelini oluşturan peridotitik kayaların hidrotermal ve günlenme koşullarının etkisi altında alterasyon sonucu meydana gelmiştir.

Dunitik bileşimli kayalar, yeşilimsi gri renkle karakterize edilmektedir. Altere yüzeyleri sarı renktedir. Dunitlerin çoğunluğu yoğun bir şekilde serpantinleşmiştir ve önemli derecede kırık ve çatlaklıdır. İnce kesitlerde, kahverengimsi kırmızımsı bir renge sahip serpantin grubu mineraller ve kromit mineralleri bulunmaktadır. Mineral sınırları ayrıca demir oksit bantlarının varlığını da göstermektedir. Ayrıca kayaçta talk damarları da mevcuttur.

Harzburgitlerin ayrılmış yüzeyi, oksidasyon seviyesine bağlı olarak değişen kırmızımsı bej veya kahverengimsi yeşil bir renge sahiptir. Öte yandan, taze kırılma yüzeyi siyahımsı koyu yeşil bir gölge olarak görünür. Harzburgitler, altere olmuş ve kaba ila orta tane boyutuna sahip piroksen kristalleri içerir. Bu kristaller metalik sarı bir renge sahiptir.

Teşekkür

Makale incelemesindeki değerli yorum ve yönlendirmelerinden dolayı tüm hakem hocalarımıza teşekkürü borç biliriz.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırma, yazarlarımızdan Yazar 2 tarafından hazırlanan Yüksek Lisans tezinin verilerinin bir

kısımının kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar makale hazırlanmasındaki tüm aşamalarda ortak katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

Aydın, M., Şahintürk, Ö., Serdar, H.S., Özçelik, Y., Akarsu, İ., Üngör, A., Çokuğraş, R. ve Kasar, S., (1986). Ballıdağ-Çangaldağı (Kastamonu) arasındaki bölgenin jeolojisi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 29, 1-16. <http://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=8182853>

Aydın, M., Demir, O., Özçelik, Y., Terzioğlu, N. & Satır, M., (1995). A geological revision of İnebolu, Devrekani, Ağlı ve Küre areas: New observations in paleotethys-neotethys sedimentary successions: Geology of the black sea region: General directorate of Mineral Research and Exploration and Chamber of Geological Engineers, Ankara, Turkey. <http://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=6501477>

Badgley, P. C., (1959). Stratigraphy and petroleum possibilities of the Sinop region: Tidewater Atlantic-Texaco Exploration Group., Petrol Dairesi Başkanlığı Teknik Arşivi, Ankara.

Boztuğ, D., (1988). Daday-Devrekani masifi güneybatı kesiminin minerolojik-petrografik ve jeokimyasal incelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 150.

Boztuğ, D. ve Yılmaz, O., (1995). Daday-Devrekani Masifi metamorfizması ve jeolojik evrimi, Kastamonu bölgesi, Batı pontidler, Türkiye. Türkiye Jeoloji Bülteni, 38 (1), 33-52.

Blumenthall, M., (1940). Gökırmak ile Karadeniz arasındaki Pontit silsilelerinin jeolojisi hakkında. MTA Rapor No:1067, Ankara.

Blumenthall, M., (1948). Bolu civarı ile aşağı kıvırmak mecrası arasındaki kuzey anadolu silsilelerinin jeolojisi. MTA yay., Seri 3, No.13, Ankara.

Dönmez, C., Keskin, S., Günay, K., Çolakoğlu, A.O., Çiftçi, Y., Uysal, İ., Türkel, A., Yıldırım, N., (2013). Chromite and PGE geochemistry of the Elekdağ Ophiolite (Kastamonu, Northern Turkey): Implications for deep magmatic processes in a supra-subduction zone setting, Ore Geology Reviews, 57, 216-228. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.09.019>

- Eren, R.H., (1979). Kastamonu-Taşköprü bölgesi metamorfizlerinin jeolojik ve petrografik etüdü. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 143.
- Gedik, A., Özbudak, N., Korkmaz, S., İztan, H. ve Ağrıdağ, D. S., (1981). Sinop Havzasının jeolojisi ve petrol olanakları ile ilgili ön sonuçlar: TJK 35. Bilim ve Teknik Kurultayı, Bildiri Özetleri, 35-36, Ankara. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/289804>
- Gedik, A. ve Korkmaz, S., (1984). Sinop havzasının jeolojisi ve petrol olanakları: MTA Rapor No:7575, Ankara.
- Geiss, H. P., (1954). Karadeniz Taşkömürü prospeksiyonu dahilinde İnebolu-Küre-Abana sahasında yapılan jeolojik löve neticeleri: MTA Rapor No: 2973, Ankara.
- Gümüş, Ö., (1966). II. Bölge ulus sahalarının jeolojisi hakkında rapor: TPAO Rapor No: 378, Ankara.
- Güner, M., 1980. Küre civarının masif sülfid yatakları ve jeolojisi, pontidler (Kuzey Türkiye). MTA Dergisi, 93-94,65-109. <https://dergipark.org.tr/en/pub/bulletinofmre/issue/3919/52191>
- Ketin, İ., (1962). 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası izahnamesi (Sinop Paftası): MTA Enst. Yayınları, Ankara.
- Ketin, İ. ve Gümüş, Ö., (1963). Sinop-Ayancık arasında III: bölgeye dahil sahaların jeolojisi: TPAO Rapor No: 288, Ankara.
- Ketin, İ., (1965). Bartın bölgesindeki Paleozoyik ve buna bağlı teşekküllerin jeolojik etüdü Hakkında Rapor: TPAO Arş. Rapor No:350, Ankara.
- Kirk, H. M., (1935). Boyabat mintikası hakkında jeolojik notlar: MTA Rapor No:194, Ankara.
- Kovenko, V., (1939). Küre madenleri jeolojisi ve çalışmaları hakkında muhtıra: MTA Der., Rapor No:859, Ankara.
- Lucius, M., (1925). Ekinveren (Boyabat) bölgesinin jeoloji etüdü (Sinop İli): MTA Enst. Derg. Rapor No: 197, Ankara.
- Okay, A. I., O. Tüysüz, M. Satır, S. Özkan-Altın, D. Altın, S. Sherlock ve Eren, R.H., (2006). Cretaceous and triassic subduction-accretion, HP/LT metamorphism and continental growth in the Central Pontides, Turkey, Geol. Soc. Am. Bull., **118**, 1247-1269. <https://doi.org/10.1130/B25938.1>
- Okay, A. I., Sunal, G. Tüysüz, O., Sherlock, S. Keskin, M. & Kylander-Clark, A. R. C. (2014). Low-pressure-high-temperature metamorphism during extension in a Jurassic magmatic arc, Central Pontides, Turkey. Journal of Metamorphic Geology, 32, 49-69. <https://doi.org/10.1111/jmg.12058>
- Pilz, R., (1937). Sinop ve Kastamonu vilayetlerindeki mineral yataklarının tetkiki hakkında rapor: MTA Rapor No:644, Ankara.
- Sendir, H., ve Keleş, M., (2020). Devrekani (Kastamonu) bölgesindeki krom oluşumlarının genel jeokimyasal özellikleri, Euro Asia 7th. International Cong. On Applied Sciences, s.370, Trabzon.
- Şengör A.M.C., ve Yılmaz, Y., (1983). Türkiye’de Tetis’in evrimi: Levha tektoniği açısından bir yaklaşım: Türkiye Jeoloji Bülteni Yerbilimleri Özel Dizisi, No.1, Ankara.
- Şengün, M., Akçaören, F., Keskin, H., Akat, U., Altun, İ.E., Deveciler, E., ... Gündüz, H., (1988). Daday-Kastamonu İnebolu yöresinin jeolojisi: MTA Rapor No: 8994, Ankara.
- Şengün, M., Keskin, H., Akçaören, F., Altun, İ., Sevin, M., Akat, U., Armağan, F., Acar, Ş., (1990). Kastamonu yöresinin jeolojisi ve Paleotetis’in evrimine ilişkin jeolojik sınırlamalar. Türkiye Jeoloji Bülteni, 33, 1. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=6520028>
- Uğuz, M. F., Sevin, M. ve Duru, M., (2007). 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Sinop Paftası: MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ustaömer, T. & Robertson, A.H.F., (1993). Late palaeozoic-early mesozoic marginal basins along the active southern continental margin of Eurasia: Evidence from the central pontides (Turkey) and adjacent regions. Geological Journal, 28, 219- 238. <https://doi.org/10.1002/gi.3350280303>
- Ustaömer, T. & Robertson, A.H.F., (1994). Late Palaeozoic Marginal Basin and Subduction-Accretion: Evidence from the Palaeotethyan Küre Complex, Central Pontides, northern Turkey. J Geol. Soc., 151, 291-306. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.151.2.0291>
- Ustaömer T. & Robertson A.H.F., (1997). Tectonic-sedimentary evolution of the North- Tethyan margin in the central pontides of Northern Turkey. In “regional and petroleum geology of the black sea and surrounding region” (ed. A.G. Robinson) American Association of Petroleum Geologists, 68, 255-290.

<https://archives.datapages.com/data/specpubs/me/moir68/ch14/ch14.htm>

Ustaömer, T. & Robertson, A.H.F., 1999. Geochemical evidence used to test alternative plate tectonic models for Pre-Upper Jurassic (Paleotethyan) units in the central pontides, N. Turkey: Geological Journal, 34, 25-53 [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1034\(199901/06\)34:1/2<25::AID-GJ813>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1034(199901/06)34:1/2<25::AID-GJ813>3.0.CO;2-C)

Yılmaz, O., (1979). Daday-Devrekani masifi kuzeydoğu kesimi metamorfizmaları. Doçentlik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 243.

Yılmaz, O., (1980). Daday-Devrekani masifi kuzeydoğu kesimi litostratigrafi birimleri ve tektoniği. Yerbilimleri Dergisi, 5-6, 101-135 <https://dergipark.org.tr/en/pub/yerbilimleri/issue/13602/164844>

Yılmaz, Y. ve Tüysüz, O., (1984). Kastamonu-Boyabat-Vezirköprü-Tosya arasındaki bölgenin jeolojisi. MTA Rapor No: 7838, Ankara.

Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş., C. A & Şengör, A. M. C., (1997). Geology and tectonic evolution of the Pontids: in A.G. Robinson, ed., Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, 68, 183-226 <https://archives.datapages.com/data/specpubs/me/moir68/ch11/ch11.htm>

COMPARATIVE ANALYSIS OF FLOTATION EFFICIENCIES BETWEEN MICROFLOTATION CELL AND BATCH FLOTATION CELL TESTS

Işıl TOKCAN^{1*}, Hasan Serkan GÖKÇEN²

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-3501-1335>

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Turkey, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-5093-6796>

Keywords	Abstract
Batch flotation Microflotation Pyrite	<i>One of the most important methods in the beneficiation of sulfide ores is flotation. Flotation experiments on a laboratory scale are mainly carried out through batch flotation and microflotation tests. In this study, comparative flotation experiments of pyrite minerals were conducted under the same conditions using the two methods mentioned above. A series of experiments were carried out with different pH values and collector dosages selected as flotation parameters. The highest flotation recovery was obtained at a pH of 7.5 with the use of PAX. Furthermore, within the conditions studied, a correlation of 94% was found between the two flotation techniques when using PAX, while it was 98% in the use of PEX. In this study, it was shown that the microflotation method can be used to estimate the efficiency values that can be obtained with batch flotation experiments.</i>

MİKROFLOTASYON VE FLOTASYON HÜCREŞİ İLE YAPILAN TESTLERİN FLOTASYON VERİMLİLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Anahtar Kelimeler	Öz
Kesikli flotasyon Mikroflotasyon Pirit	<i>Sülfürlü cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılan en önemli yöntemlerden birisi flotasyondur. Laboratuvar ölçeğinde flotasyon deneyleri yoğun olarak kesikli flotasyon ve mikroflotasyon testleri aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, bahsedilen iki yöntem kullanılarak, pirit mineralinin aynı şartlar altında karşılaştırılmalı flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Flotasyon parametreleri olarak farklı pH ve toplayıcı dozajları seçilerek bir dizi deney yapılmıştır. En yüksek flotasyon verimleri pH 7,5 da PAX kullanımında elde edilmiştir. Ayrıca çalışılan koşullar aralığında, iki flotasyon tekniği arasında PAX kullanımında %94, PEX kullanımında ise %98 korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada kesikli flotasyon testleri ile elde edilebilecek verim değerlerinin tahmini için mikroflotasyon yönteminin kullanılabileceği gösterilmiştir</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 29.04.2024

Kabul Tarihi

: 31.07.2024

Research Article

Submission Date

: 29.04.2024

Accepted Date

: 31.07.2024

* Sorumlu yazar: ikilickaplan@ogu.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1475051>

1. Introduction

Froth flotation is a widely used metallurgical separation method used for mineral processing, wastewater treatment and plastic recycling (Takoungsakdakun and Pongstabodee, 2007., Wang, Wang, H., Fu and Liu, 2015, Negari, Ostad Movahed and Ahmadpour, 2018). Flotation is essentially a separation technique relies on the wettability of minerals. It is a physical-chemical process based on utilizing the gas bubbles to selectively adhere to particle surfaces in a solid/water pulp. The

particles attached to bubbles are separated from the pulp depending on its hydrophobic or hydrophilic properties. Chemicals are used to alter the surface hydrophobicity of particles, thereby increasing the effectiveness of bubble collection. The fact that mineral surface properties can be changed with the use of chemicals enables the flotation process to be used in the wide range of mineral separation. This method is especially useful for treating fine grained ores that cannot be effectively processed using traditional gravity concentration techniques.



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/>).

Separation takes place in a flotation cell (Figure 1) in which a slurry consisting of particles and water is added and air is continuously introduced into the system. The bubble capture process consists of three steps. The initial phase involves collision, where a particle encounters a bubble. Subsequently, during the attachment stage, the particle might adhere to the bubble, rebound into the pulp, or slide off the bubble's surface. In the final detachment stage, external forces can cause adhered particles to separate from the bubble. Ultimately, only particles successfully attached to the bubble will be gathered in the froth phase and recovered as the floated product. Hydrophilic particles settle within the pulp and generate the non-floated product (tailings). In flotation columns, gas bubbles with diameters typically around 0.5 mm are generated. These bubbles selectively adhere to hydrophobic particles, transporting them to the liquid surface, creating a froth zone for separation. Meanwhile, hydrophilic particles are discharged from the bottom outlet.

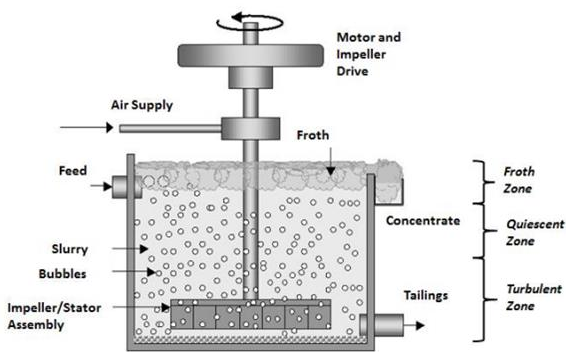


Figure 1. Flotation Cell

In conventional flotation cells, the establishment of three distinct hydrodynamic regions: turbulent, quiescent, and froth zones are fundamental to ensuring efficient flotation processes (Savassi, 2005). Figure 1 illustrates the presence of these three distinct hydrodynamic regions within a conventional flotation cell. The turbulent zone nearest to the impeller exhibits the highest turbulence intensity, facilitating the dispersion of injected gas into bubbles that interact with suspended solids. The turbulent zone influences the suspension of solids, the dispersion of gas, and the interactions between bubbles and particles. A quiescent zone situated in the central layer of the cell promotes the ascent of bubble-particle aggregates into reduced turbulence zone which aiding in their stabilization and reducing the gangue mineral entrainment. At top of the cell, the froth zone acts as an additional cleaning stage, facilitating drainage and further enhancing concentrate grade (Gorain, Franzidis and Manlapig, 2000).

The challenge of flotation processing fine (15-5 μm) and ultrafine (<5 μm) mineral particles remains a significant technical obstacle in mineral processing. Losses

resulted from the inherent characteristics of these particles, such as their limited mass, high interfacial free energy, and primary flotation efficiencies, which contribute to their low likelihood of being captured by bubble particles (Dai, Fornasiero and Ralston, 1999; Wiese and Harris, 2012; Ahmadi, Khodadadi, Abdollahy and Fan, 2014).

The large bubbles (1-3 mm) generated in conventional flotation cells are inefficient for the flotation of these small particles. As a result, both the flotation time and collector usage rise significantly. An encouraging solution to this issue involves the utilization of small microbubbles, each less than 0.1 mm in diameter through microflotation. The microflotation process involves the extraction of fine suspended minerals from water by employing microscopic gas bubbles, typically 100 μm or smaller in size. These small bubbles have a higher efficiency in capturing smaller particles compared to the millimeter-sized bubbles utilized in traditional flotation techniques (Loewenberg and Davis, 1994).

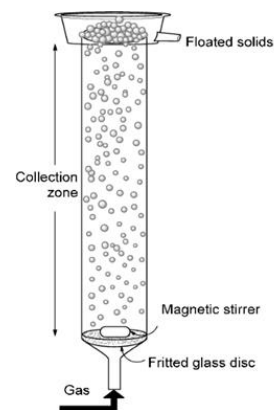


Figure 2. Microflotation Cell

Froth flotation fundamentally involves collecting minerals through ascending bubbles. To achieve effective mineral recovery via flotation, crucial steps like bubble-particle collision and particle adhesion to bubbles are necessary. When an external force surpasses the internal attachment force within a particle-bubble aggregate, the particle initially adhered to the bubble will detach. The stability of these aggregates depend on the balance of forces exerted on them. Frothers are introduced to generate small bubbles and enhance froth stability. The stability of the froth is not only influenced by the frother, but also by the properties of the suspended particles (Johansson and Pugh, 1992; Schwarz and Grano, 2005).

The number of particles present in the system is thought to influence viscosity directly. Additionally, the viscosity

of the flotation medium could impact the recovery achieved through flotation. According to Xu, Ametov and Grano (2011), bubble-particle aggregates tend to exhibit greater stability in suspending mediums with higher viscosity levels.

Since flotation separation is employed in various systems, the equipment utilized for the procedure differs. Classification can be based on how gas bubbles are generated and introduced, the degree of turbulence, and the direction of phase movement relative to each other. Machine capacities may range from small fractions of a cubic centimeter to several hundred cubic meters.

The complexities outlined above pose significant challenges in scaling up flotation techniques. Furthermore, unlike numerous other separation methods, extending the duration of flotation separation does not always enhance its metallurgical outcomes. Hence, accurately determining the arrangement and dimensions of flotation cells based on batch and pilot test outcomes (scaling up) is paramount for achieving favorable overall results.

Despite all factors taken into account, the usual method involves identifying the optimal parameters through laboratory-scale tests (such as conditioning and separation time, etc.) and subsequently applying them to industrial-scale operations using an empirical "scale-up factor". The utilization of data from small-scale column flotation cells in designing large industrial flotation columns is highly significant and has been thoroughly addressed in literature. (Dobby and Finch, 1990; Dobby and Finch, 1991; del Villar, Finch, Gomez and Espinoza-Gomez, 1992; Luttrell, Mankosa and Yoon, 1993).

Pyrite is the most common sulphide gangue mineral in ore deposits. Flotation of pyrite mineral is a critical step in the ore preparation process aimed at separating valuable minerals from gangue. For effective separation, the factors affecting the pyrite flotation process must be fully understood. As a result, extensive studies on pyrite depression and flotation behavior are still ongoing (Zhang, F., Zhang, C., Zhang, H., Chen, Wang, Chen, D., Chen, J., Tian and Sun, 2023; Jiang, K., Han, Y., Liu, J., Wang, Y., Ge, W. and Zhang, D., 2023; Zhang, Peng, Wang, Cao, Qi and Huang, 2024). This study aimed to investigate the existence of correlation between microflotation and batch flotation experiments of pyrite with different collector usage at varied pH range.

3. Material and Method

Pure pyrite samples from Kütahya region collected by hand were crushed and ground in a mortar, dry sieved to produce a size fraction less than 425 μm , and then air tightly packaged and stored at $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ to prevent oxidation. 2 g of the prepared pyrite samples were

weighed and ground to d_{80} :76 μm . Grinding operations were carried out in the mill shown in the Figure 3a. The grinding medium is designed for the use of 30 steel balls of size 6 mm in the glass mill ($\varnothing 40 \times 75\text{ mm}$). Wet grinding is carried out by adding 2 ml of distilled water to the mill. The grinding process is carried out by placing the mill with the grinding media and pyrite sample on the Retsch sieve shaker (Figure 3b). Based on the data obtained from the preliminary tests, the grinding times were determined as 2.5 minutes. The particle size distributions of the wet ground pyrite samples are analyzed with a Malvern Mastersizer Hydro 2000 MU Particle Size Analyzer using the laser diffractometer method (Figure 4).



Figure 3. a) Glass Mill Used for Grinding b) Sieve Shaker

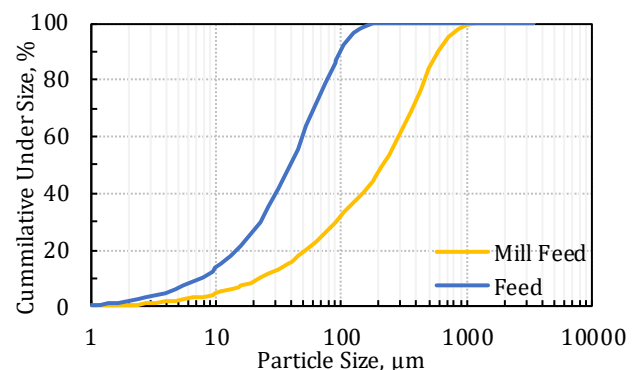


Figure 4. Particle Size Distribution of Pyrite

Batch flotation tests are carried out in a 1,25-liter volume flotation cell using a Denver D12 type with an impeller speed of 1300 rpm at an air flow rate of $6\text{ dm}^3\text{ min}^{-1}$ (Figure 5a). Flotation experiments were carried out with the artificial mixture obtained by wet ground pyrite sample (2 g) and quartz (300 g). The ground pyrite samples were artificially mixed with the $-212+150\text{ }\mu\text{m}$ quartz samples to ensure proper pulp rheology during the batch flotation tests. All batch flotation tests were conducted at about 30% solids.

Following the flotation process, the float and sink products acquired were dried, and sieved through a 150 μm to separate the quartz that could entrained into the

concentrate then measured in weight. The recovery was determined as a percentage by comparing the quantity of floated material to the quantity of feed. All the experiment was conducted in duplicate to ensure that any identified changes were statistically significant.

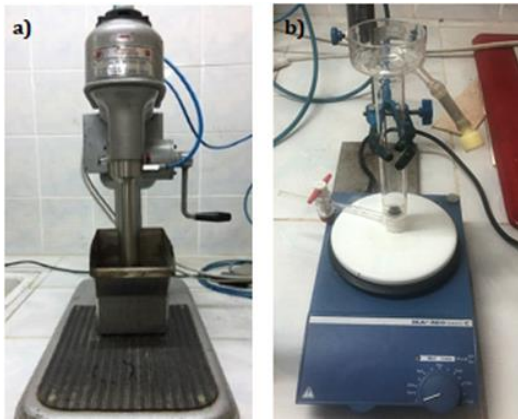


Figure 5. a) The Batch Flotation Cell b) The Microflotation Cell Used in The Tests

2 g of pyrite mineral was mixed with 50 ml of distilled water in the beaker with a magnet at 500 rpm. The slurry was transferred into the microflotation cell (Figure 5b) with a capacity of 70 ml. Microflotation tests were carried out at an airflow rate of 0,4 dm³ min⁻¹. The mixing process of the pulp was carried out using a IKA stirrer and a magnet in the cell at 750 rpm.

The most commonly used xanthate type collectors Potassium Ethyl Xanthate (PEX) and Potassium Amyl Xanthate (PAX) from ECS Chemistry Inc. were selected and used in the experiments. Xanthate solutions were prepared daily. Aerofroth 70 (AF-70) supplied by Solvay Group was used as a frother and NaOH and HCl as the pH adjusting agents. The experiments were conducted using 15, 25 and 30 g/t collectors with the frother at 48

g/t. The pH was controlled during the experiments using a Hach Lange pH meter.

4. Results

Numerous research efforts have demonstrated the impact of pH on mineral flotation, the pH level of the pulp being a critical indicator during the flotation process (Lin, Wang, Liu, Sun, and Jing, 2022). In the literature, the floatability of pyrite was investigated at varying pH dosages. While there are two humps in which pyrite can float in alkaline and acidic environments, it has been shown that it is depressed at points close to neutral pH values (Fuerstenau, Kuhn and Elgillani ,1968; Fuerstenau, Misra and Palmer, 1980).

In order to determine the pyrite floatability in the use of different collectors at varying dosages and pH values, a series of experiments were carried out. Pyrite was floated between pH 7.5 and 9.5 in the use of PAX and PEX at varying dosages (15, 25, and 30 g/t).

While Figure 6a shows the results of the experiments using PAX, Figure 6b shows the results of the experiments using PEX. In Figure 6 , it is observed that as pH values increase, pyrite recovery values decrease at all reagent dosages. The reduced stability of dixanthogen as pH increases is also a contributing factor to the poor flotation of pyrite, given that dixanthogen is the primary xanthate species on the pyrite surface. The lowest recovery values are obtained in experiments using 15 g/t PAX and PEX. When using 15 g/t PAX, a recovery value of 78.09% was obtained at pH 7.5, whereas recovery value of 70.61% was obtained at pH 9.5. In addition, the recovery values were acquired in the use of 25 g/t and 30 g/t collectors are close to each other. At pH 7.5, 86.64% recovery value was obtained in the use of 30 g/t PAX. In the use of 15 g/t PEX, 74.66% recovery was obtained at pH 7.5 and 68% recovery at pH 9.5.

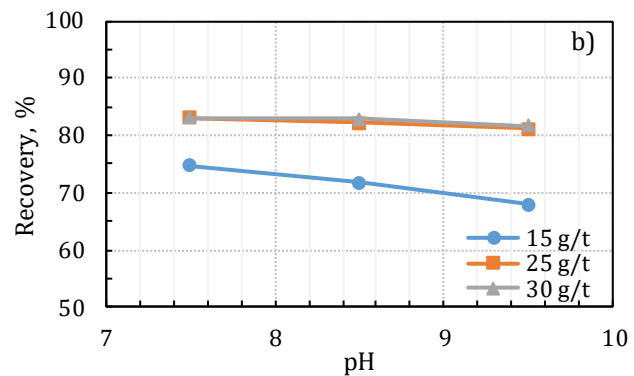
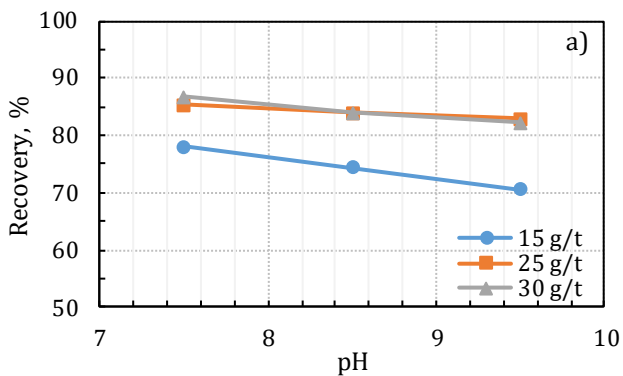


Figure 6. a) Pyrite Recovery vs pH at Different PAX Dosages in the Batch Flotation Cell b) Pyrite Recovery vs pH at Different PEX Dosages in the Batch Flotation Cell

In Figure 7a, it is seen that the pyrite recovery decreases with increased pH values in the use of PAX. On the other hand, the increased use of PAX dosage has resulted in increased pyrite recovery. Comparable recovery values have been achieved for both types of collectors using 25 g/t and 30 g/t. Figure 7 b shows that parallel to the results obtained with PAX, the recovery values of pyrite decrease along with the rise in pH values. When the results of microflotation experiments are evaluated, the pyrite recoveries obtained with PAX are higher than with PEX. The data obtained from the microflotation experiments are parallel to the results of the batch flotation experiments.

The findings indicated that PAX consistently yielded the highest relative recoveries across all scenarios. The length of the carbon chain of the collector is recognized to affect the hydrophobic nature of the mineral surface. Enhancing the length of the hydrocarbon chain in the collector leads to a rise in the contact angle (Wark and Wark, 1932). The trend of increasing hydrophobicity of the mineral surface aligns with the pioneering research by Wark and Wark (1932), demonstrating that longer collector chain lengths corresponded to higher contact angles on pyrite.

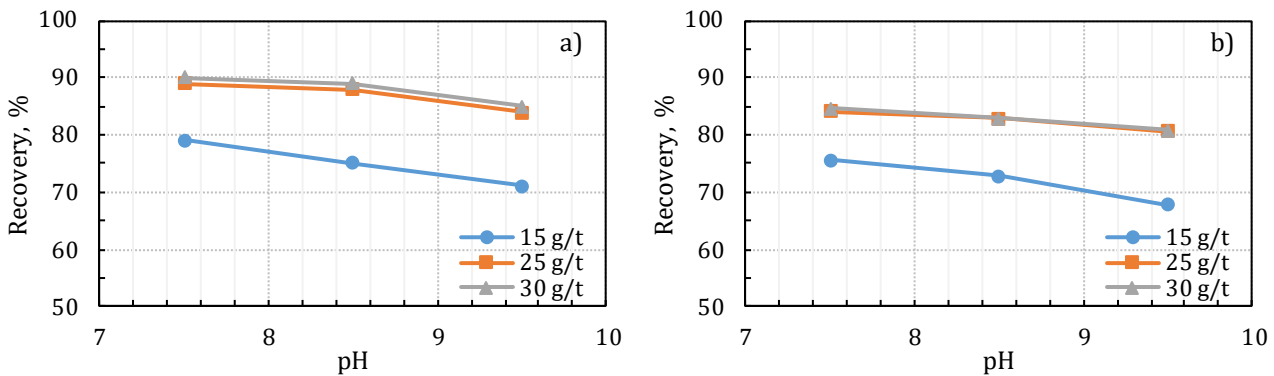


Figure 7. a) Pyrite Recovery vs pH at Different PAX Dosages in the Microflotation Cell b) Pyrite Recovery vs pH at Different PEX Dosages in the Microflotation Cell

Figure 6 and 7 contain data from experiments conducted in batch flotation cell and microflotation cell. When the data are examined, the recoveries in microflotation appear to be higher than in batch flotation. However, the trends between the two flotation techniques are similar. In order to determine the relationship between two different flotation techniques, the relationship graph of all the findings is given in the following figures. As seen in Figures 8 a and b, it is seen that the two techniques are in high agreement with each other, the results of the experiments with PAX have a

94% correlation, and the results of the experiments with PEX have a correlation of 98%. The data indicate that the two flotation techniques may be used alternatively to determine the flotation behavior of the investigated pure pyrite mineral by using the microflotation technique, which is a simpler and more practical procedure.

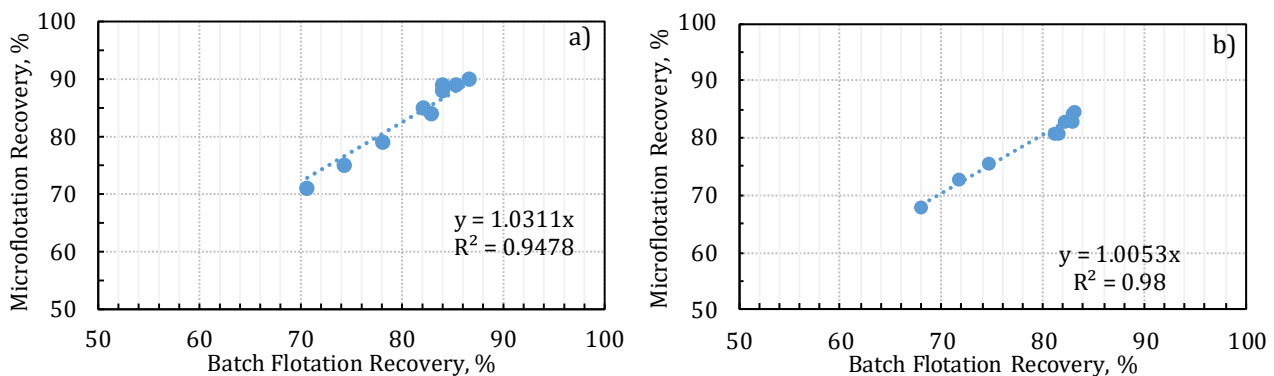


Figure 8. The Correlation Between Batch Flotation and Microflotation with Different Collector Usage (a: PAX b: PEX)

5. Conclusions

In this study, the flotation behaviour of pyrite, an important sulphur mineral gangue, was examined at various pH levels and various concentrations of collectors with different chain lengths by batch flotation and microflotation experiments, and the correlations between the two flotation techniques were determined.

In the pH range studied, a decrease was observed in the pyrite recovery as the pH value increased which is consistent with the literature. The highest recovery value, 90%, was reached in the use of 30 g/t PAX at pH 7.5. Due to the longer chain length of PAX, higher recovery values were obtained in experiments using PAX compared to experiments performed with PEX.

Higher recovery values were acquired in microflotation tests compared to batch flotation tests. This can be explained by the production of a finer and higher amount of bubbles in microflotation compared to the batch flotation experiments. Despite this, a high correlation was obtained between these two techniques. In the experiments performed with PAX, the R' between the two flotation techniques was obtained as 0.9478, whereas in the experiments conducted with PEX, R was obtained as 0.98.

The findings show that the two flotation techniques can be used interchangeably in determining the flotation behaviour of pure pyrite minerals studied. In this specific case, results can lead to scale-up can be carried out with the microflotation technique, which is a simpler and more practical method. This shows that the microflotation method, which is smaller and relatively easier to perform, can be used to estimate cell flotation efficiencies. Moreover, by developing such models, predictions can be made for plant design through the microflotation method. On the other hand, it should be remembered that the relationship between these two flotation techniques is limited to the parameters and conditions used in this study. In future studies, the relationship between these two flotation techniques will be revealed more clearly by working with different minerals and mineral groups.

Author Contributions

Işıl TOKCAN and Hasan Serkan GÖKÇEN contributed to the publication with the design and implementation of the research, analysis of the results, and writing of the manuscript and discussion of the results and review of the manuscript.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Ahmadi, R., Khodadadi, D.A., Abdollahy, M. & Fan, M. (2014). Nanomicrobubble flotation of fine and ultrafine chalcopyrite particles. *Int. J. Mining Sci. Technol.*, 24(4):559-566. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2014.05.021>
- Dai, Z., Fornasiero, D. & Ralston, J. (1999). Particle-bubble attachment in mineral flotation. *J. Colloid Interface Sci.*, 217(1):70-76. Doi: <https://doi.org/10.1006/jcis.1999.6319>
- Derjaguin, B.V. & Dukhin, S.S. (1993). Theory of flotation of small and medium-size particles. *Progress Surface Sci.*, 43(1-4):241-266. Doi: [https://doi.org/10.1016/0079-6816\(93\)90034-S](https://doi.org/10.1016/0079-6816(93)90034-S)
- del Villar, R., Finch, J.A., Gomez, C.O. & Espinoza-Gomez, R. (1992). *Minerals Eng.*, 5(2), 169.
- Dobby, G.S. & Finch, J.A., (1990). *Column Flotation*, Ch. 7. Pergamon Press
- Dobby, G.S. & Finch, J.A. (1991). Column flotation: A selected review, part II. *Minerals Eng.*, 4(7-11), 911. Doi: [https://doi.org/10.1016/0892-875\(91\)90073-5](https://doi.org/10.1016/0892-875(91)90073-5)
- Fuerstenau, M.C., Kuhn, M.C. & Elgillani, D.A. (1968). The role of dixanthogen in xanthate flotation of pyrite. *AIME Transactions*, June, 148-156.
- Fuerstenau, M.C., Misra, M. & Palmer, B.R. (1990). Xanthate adsorption on selected sulfides in the virtual absence and presence of oxygen. Part I. *International Journal of Mineral Processing*, 29, 89-98. Doi: [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(90\)90007-L](https://doi.org/10.1016/0301-7516(90)90007-L)
- Gorain, B.K., Franzidis, J.P. & Manlapig, E.V. (2000). Flotation cell design: application of fundamental principles. Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, Indooroopilly Queensland, Australia, 1502-1506.
- Jiang, K., Han, Y., Liu, J., Wang, Y., Ge, W. & Zhang, D. (2023). Experimental and theoretical study of the effect of pH level on the surface properties and floatability of pyrite. *Applied Surface Science*, 615, 156350. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2023.156350>
- Johansson, G. & Pugh, R.J. (1992). The influence of particle size and hydrophobicity on the stability of mineralized froths. *Int. J. Miner. Process.*, 34, 1-21. Doi: [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(92\)90012-L](https://doi.org/10.1016/0301-7516(92)90012-L)

- Lin, S., Wang, C., Liu, R., Sun, W. & Jing, G. (2022). Surface characterization of molybdenite, bismuthinite, and pyrite to identify the influence of pH on the mineral floatability. *Appl. Surf. Sci.* 577. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.151756>
- Loewenberg, M. & Davis, R. H. (1994). Flotation rates of fine, spherical particles and droplets. *Chem. Eng. Sci.*, 49: 3923-3941. Doi: [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(94\)00200-2](https://doi.org/10.1016/0009-2509(94)00200-2)
- Luttrell, G.H., Mankosa, M.J. & Yoon, R-H. (1993). Design and scale-up criteria for column flotation. *Proc. 18th Int. Minerals Processing Conference, Sydney*, 785-791.
- Savassi, O.N. (2005). A compartment model for the mass transfer inside a conventional flotation cell. *Int. J. Mineral Process.*, 77 (2), 65-79. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2005.02.003>
- Schwarz, S. & Grano, S. (2005). Effect of particle hydrophobicity on particle and water transport across a flotation froth. *Colloids Surf. A.*, 256, 157-164. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2005.01.010>
- Trahar, W.J. (1981). A rational interpretation of the role of particle size in flotation. *Int. J. Mineral Process.*, 8(4):289-327. Doi: [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(81\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0301-7516(81)90019-3)
- Wiese, J. & Harris, P. (2012). The effect of frother type and dosage on flotation performance in the presence of high depressant concentrations. *Minerals Eng.*, 36-38, 204-210. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2012.03.028>
- Xu, D., Ametov, I. & Grano, S.R. (2011). Detachment of coarse particles from oscillating bubbles – the effect of particle contact angle, shape and medium viscosity. *Int. J. Miner. Process.* 101 (1-4), 50-57. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2011.07.003>
- Wark, E.E. & Wark, I.W. (1932). The Physical Chemistry of Flotation III. The relationship between contact angle and the constitution of the collector. *J. Phys. Chem.*, 37 (1) (1932), 805-811.
- Takoungsakdakun, T. & Pongstabodee, S. (2007). Separation of mixed post-consumer PETPOMPVC plastic waste using selective flotation, *Sep. Purif. Technol.* 54 248-252. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2006.09.011>
- Wang, C.Q., Wang, H., Fu, J.-G. & Liu, Y. N. (2015). Flotation separation of waste plastics for recycling. A review, *Waste Manage.*, 41, 28-38.
- Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.027>
- Negari, M. S., Ostad Movahed, S. & Ahmadpour, A. (2018). Separation of polyvinylchloride (PVC), polystyrene (PS) and polyethylene terephthalate (PET) granules using various chemical agents by flotation technique, *Sep. Purif. Technol.* 194 368-376. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.11.062>
- Zhang, F., Zhang, C., Zhang, H., Chen, P., Wang, R. Chen, D., Chen, J., Tian, M. and Sun, W. (2023). Selective Adsorption Mechanism of Ferric Ions on the Surfaces of Chalcopyrite and Pyrite in Flotation, *The Minerals, Metals & Materials Society*, 4435-4445. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11837-023-06067-z>
- Zhang, L., Peng, W, Wang, W., Cao, Y., Qi, M. & Huang, Y. (2024). A green method for selective separation of molybdenite and pyrite via electrochemical oxidation pretreatment-flotation and its mechanism. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 687, 133508. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.133508>

FARKLI KAYNAKLARDAN ELDE EDİLEN DEMİR ATOMUNUN, DÖKÜM KİLİ İLE ELDE EDİLEN MULLİT YAPISI İÇİNDE ABSORPLANMA DERESESİNİN BELİRLENMESİ

Zeynep Gizem SARITAŞ^{1*}, Rasim CEYLANTEKİN²

¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kütahya, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-0084-3617>

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kütahya, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5561-5008>

Anahtar Kelimeler	Öz
Kil Mullit Demir Demir Çözünürlüğü SAN-90	<i>Bu çalışmada; seramik ve porselen sektörünün önemli hammaddelerinden biri olan kilin daha temiz ve kaliteli bir şekilde yumuşak porselen üretimi sektörüne kazandırılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmanın en büyük amaçlarından biri geleneksel seramik endüstrisinde kullanılan killerde yüksek oranlarda bulunan demirin renklenmesini engellemektir. Çalışmada; SAN-90 kiline ağırlıkça %0, %2, %4, %6, %8, %10 oranlarında iki tip demir (Fe₂O₃ ve FeCl₃) ilave edilmiştir. Demirin mullit ile etkileşimi incelenmiştir. Fe kristal yapıya girdiğinde FeO parçalanacak ve renklenme etkisi önlenecektir. Belirtilen formülasyonlar ile hazırlanan numuneler 1200°C 'de pişirilmiştir. SAN-90 kilinin kimyasal özelliklerini belirlemek için XRF (X-Işını Floresansı), XRD (X-ray Kırınımı) analizi ve termal özelliklerini belirlemek için TG/DTA (Termal Gravimetri ve Diferansiyel Termal Analizi) analizleri yapılmıştır. Daha sonra sinterlenen numunelerin yoğunluk, su emme ve porozite testleri yapılarak L*a*b* değerleri ölçülmüştür. Bunlara ek olarak sinterlenmiş numuneler üzerinde XRD analizi yapılarak demir ilavesinin sıcaklık ile davranışı incelenmiştir. Ayrıca mullitin kristal parametreleri hesaplanarak mullitteki demir çözünürlük limiti belirlenmiştir. Yüzey görüntüleri ve mullit kristallerinin büyümesi SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizi ile incelenmiştir. Çalışma kapsamında SAN-90 killerin porselen/seramik endüstrisinde kullanılabilirliği, yüksek demir çözünürlüğünü barındıran yüksek mullitleşme oranı ile avantajlar sağlamaktadır.</i>

DETERMINATION OF THE DEGREE OF ABSORPTION OF IRON ATOMS OBTAINED FROM DIFFERENT SOURCES IN THE MULLITE STRUCTURE OBTAINED WITH CASTING CLAY

Keywords	Abstract
Clay Mullite Iron Iron Solubility SAN-90	<i>In this study; It is aimed to bring clay, which is one of the important raw materials of the ceramic and porcelain sector, to the soft porcelain production sector in a cleaner and higher quality way. One of the major aims of this study is to prevent the coloration of iron, which is found at high rates in the clays used in the traditional ceramic industry. In the study; Two types of iron (Fe₂O₃ ve FeCl₃) were added to SAN-90 clay at the rates of 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10% by weight. The interaction of iron with mullite was investigated. When Fe enters the crystal structure, FeO will be broken down and the coloration effect will be prevented. The samples prepared with the specified formulations were fired at 1200°C. XRF (X-ray Fluorescence), XRD (X-ray Diffraction) analyzes were performed to determine the chemical properties of SAN-90 clay and TG/DTA (Thermal Gravimetry / Differential Thermal Analysis) analyzes were performed to determine its thermal properties. Then, density, water absorption and porosity tests of the sintered samples were performed and L*a*b* values were measured. In addition to these, the behavior of iron addition with temperature was investigated by performing XRD analysis on sintered samples. In addition, the iron solubility limit in mullite was determined by calculating the crystal parameters of mullite. Surface images and growth of mullite crystals were investigated by SEM (Scanning Electron Microscopy) analysis. Within the scope of the study, the usability of SAN-90 clays in the porcelain/ceramic industry provides advantages with its high mullitization rate, which contains high iron solubility.</i>



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 : 13.06.2023
Kabul Tarihi : 03.07.2024

Research Article

Submission Date : 13.06.2024
Accepted Date : 03.07.2024

* Sorumlu yazar: zeynepsaritas@yahoo.com
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1313473>

1. Giriş

Günümüzde seramik ve porselen sektöründe hızlı bir büyüme görülmektedir. Sanayinin bu kolunda görülen büyüme, kullanılan hammadde tüketimini de oldukça artırmaktadır (Koroğlu, 2007; Ozguven, 2011; Sümer, 2002). Seramik ve porselen sektörünün en önemli hammaddelerinden birini kullanılan killer oluşturmaktadır. Son zamanlarda yaşanan hammadde krizleri de bu konulardaki çözüm arayışlarını artırmaktadır.

Killer doğal olarak beyaz, gri, kahverengi, sarı, kırmızı ve siyah tonlarında olabilirler. Fakat bu renkler pişirim esnasında değişir. Doğal hali kırmızı, siyah veya kahverengi olan bir kil pişirimden sora beyaz rengi alabilir. Pişme rengini en çok etkileyen maddeler killerin içinde bulunan demir, mangan ve titan oksit içerikli bileşiklerdir. Bunlara ek olarak pişirim esnasındaki sinterleşme sıcaklığı arttıkça renk kompozisyonu artar.

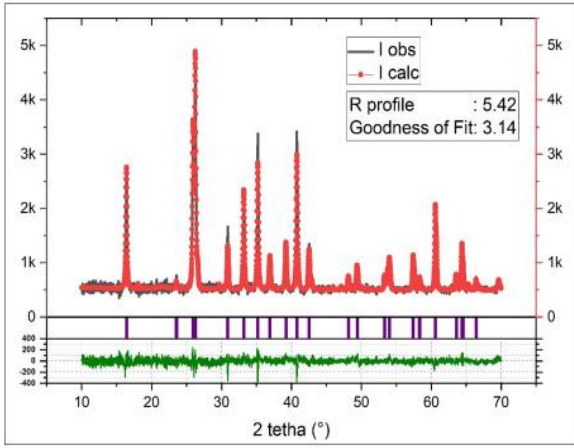
Seramik ve porselen sektöründe temiz ve beyaz bir bünye oldukça önemlidir (Akıl & Tuncuk, 2006). Beyaz ve temiz bir üretim istenen seramik ve porselenlerde kullanılan killerin içerisinde saf olmayan malzemeler ve empüritelere bulunmaktadır. Bu empüritelere başlıcaları da Al, Si, Fe, Ca, Na, Mg, K gibi elementlerdir. Killerin yapısına giren bu tür bileşikler olumsuz etki eder ve üretimde istenmez. Özellikle Fe₂O₃ gibi safsızlıklar fiziksel, kimyasal ve estetik görünüm gibi önemli yan etkilere sahip olabilirler. Bu renk verme etkisini engellemek için yapıda mullit kristalleri oluşturularak demir mullit kristallerinin içerisine hapsedilebilir (Ceylantekin ve Başar, 2018; Schneider, Hartmut, Fischer ve Schreuer, 2015). Doğal mullit, yabancı bileşenler olarak demir, titanyum ve bunlara ek olarak bazen krom içerir (Duval, Risbud ve Shackelford, 2008; Schneider, 1987). Yabancı katyon içeriği genellikle düşüktür, fakat Fe₂O₃ ve TiO₂ bakımından zengin mullit varlığı da tanımlanmıştır. Literatür verileri, mullitin yaklaşık %12 ye kadar Fe₂O₃ içerdiğini göstermektedir (She ve Ohji, 2003). Demirin mullit içine dahil edilmesi nispeten düşük a'ya, ancak daha güçlü b ve c kafes sabit genişlemelerine neden olur (Elmas, 2009). Elektron mikroprob analizleri, demirin mullitin dış kenarlarında zenginleştirildiğini, iç kristallerin alanlarının ise daha az demir içerdiğini göstermektedir (Ilić ve diğ., 2020; Lee ve Iqbal, 2001)

Bu çalışmada da, temiz hammaddenin istenildiği sektörde kullanılan killerde yüksek oranlarda karşılaşılan demirin renk vermesini engellemek için

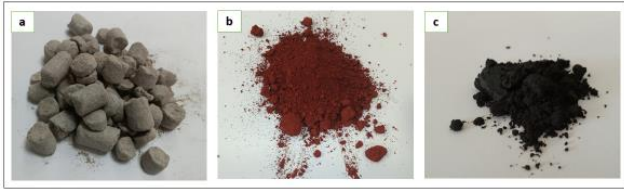
çalışmalar yapılmıştır. Oluşturulan mullit kristalleri ile fiziksel/ kimyasal dayanıksızlık ve renk değişimlerinin önüne geçilebilmektedir (Saritas, 2023).

2. Yöntem

Bu çalışmada, temiz ve beyaz bir bünyenin istendiği seramik/porselen endüstrisinde kullanılan killerde yüksek oranda karşılaşılan demirin renklendirici etkisinin önlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Hammadde olarak SAN-90 kili kullanılmıştır. Ayrıca demir kaynağı olarak Demir (III) Oksit (Fe₂O₃) ve Demir (III) Klorür (FeCl₃) kullanılarak mullit kristalleri oluşturulmuştur. Toplam 12 formül oluşturulmuştur. Numuneler, ağırlıkça %5 su ile nemlendirilmiş 3N ile 40 Ø mm'lik tozlar halinde preslenmiştir. Preslenen numuneler NAVY -FN-500 kurutucuda 80 °C'de kurutulduktan sonra MSE_M1300 fırınında 1200 °C'de 3 saat sinterlenmiştir. Isıtma ve soğutma döngüleri 5 °C/dak dır. SAN-90 kilinin kimyasal özelliklerini belirlemek için Panalytical/Axios MAX marka cihaz ile XRF (X-Işımları Floresansı) analizleri, termal özelliklerini belirlemek için SETARAM/labSys evo marka cihaz ile TG/DTA (Termal Gravimetri ve Diferansiyel Termal Analizi) analizleri yapılmıştır. Ham kil ve pişmiş numuneler için PANalytical EPMYREAN marka cihaz ile XRD (X-Işımları Kırınım) analizi yapılmıştır. XRD verilerinin toplanması için numuneler 10°- 70° (2θ) arasında 0.02 adım büyüklüğünde anol 0,04 radyan sollar yarıkları ve ½" ve ¼" saçılma önleyici yarıklar ile taranmıştır. Faz tanımlaması için Uluslararası Kristal Yapı Veri Tabanı (ICSD) kullanılmıştır. Numunelerin nicel faz analizi, HighScore plus yazılımı (Panalytical, Lisans Numarası:100 4501) kullanılarak Rietveld yöntemi ile hesaplanmıştır. Ağırlıkça %2 Fe₂O₃ içeren rafine numune örneği Şekil 1'de verilmiştir. Daha sonra standart Arşimet ve su emme yöntemleri ile pişirilen numunelerin yoğunluk, su emme ve gözeneklilik testleri yapılmıştır. L*a*b* değerleri, X-Rite spektrofotometre ile ölçülmüştür. Kırılan yüzeylerin mikro yapıları %10 HCl ile aşındırıldıktan sonra FEI Nova Nano SEM 650 ile analiz edildi. Bu analiz ile numunelerin kristalografik ve morfolojik incelemeleri ile elementel incelemeleri yapılmıştır. Kullanılan hammaddeler Şekil 2'de, formülasyonları Tablo 1'de verilmiştir. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.



Şekil 1. SAN-90 Kiline Ait Rietveld Grafiği

Şekil 2. Hammaddeler; (a) SAN-90 Kili; (b) Fe₂O₃; (c) FeCl₃.

Tablo 1. Hazırlanan Formülasyonlar (% ağırlıkça).

MALZEMELER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SAN-90 KİLİ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fe ₂ O ₃	0	2	4	6	8	10						
FeCl ₃							0	4,05	8,10	12,16	16,21	20,26

3. Bulgular

SAN-90 kilinin kimyasal analiz sonucu Tablo 2'de verilmiştir. Kilde %55,51 SiO₂, %27,68 Al₂O₃ ve demir miktarının da düşük olduğu görülmektedir. Alümina miktarının fazla olması, Fe₂O₃ ve TiO₂ oranlarının düşük olması seramik/porselen sektörü uygulamalarında kullanılabilirlik açısından avantaj sağlamaktadır.

Tablo 2. SAN-90 Kilinin Kimyasal Analiz Sonuçları.

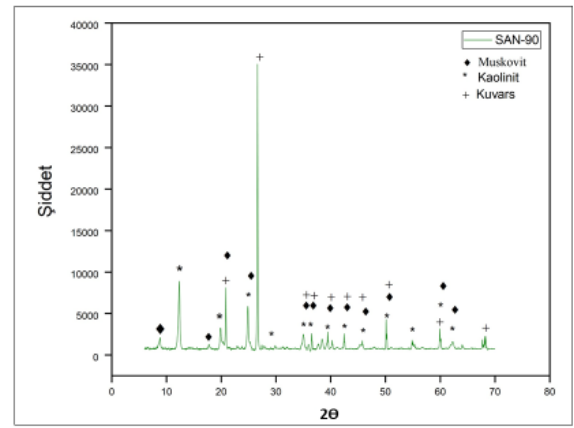
Bileşenler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂	Na ₂ O	Ateş Zaiyatı (%)
(%)	55,51	27,68	2,16	1,04	0,32	0,06	1,29	0,3	11,3
Bileşenler	CaO	Rb ₂ O	SO ₃	PbO	ZrO ₂	ZnO	NiO	Cr ₂ O ₃	Toplam (%)
(%)	0,16	0,02	0,05	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	100,01

Ham SAN-90 kilinin mineral analizi Şekil 3'de gösterilmiştir; hammadde de kaolinit (ICSD # 98-006-

8698), muskovit (ICSD # 98-007-7497) ve kuvars (ICSD # 98-007-0007) mevcuttur. Kaolinit, %44,1 ile en fazla bulunan ana fazdır (Tablo 3).

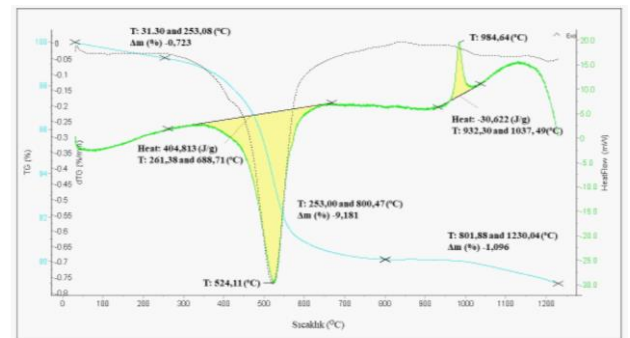
Tablo 3. SAN-90 Kilinin Kimyasal Analiz Verileri.

Fazlar	% Ağırlıkça
Kuvars	36,7
Kaolinit	44,1
Muskovit	19,3
Toplam	100



Şekil 3. SAN -90 Kilinin XRD Görüntüsü.

SAN-90 kiline ait TG/DTA eğrileri Şekil 4'de verilmiştir. DTA eğrisine göre 524°C'de OH grubu molekülleri uzaklaşmaya başlamış ve endotermik pik oluşmuştur. 984°C'de ekzotermik pik görülmektedir. TG grafiğine bakıldığında 250°C'de ağırlık kaybının başladığı görülmektedir ve sıcaklığın artmasıyla birlikte hızlıca kütle kaybının 800°C 'ye kadar devam ettiği görülmektedir. 800- 1100°C sıcaklıkları arasında kütle kaybı yavaş olarak devam etmektedir.



Şekil 4. SAN-90 Kiline Ait TG/DTA Grafiği.

1200°C 'de sinterlenen formülasyonların yoğunluk, su emme ve gözeneklilik değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Fe₂O₃ ve FeCl₃ ilavesi ile katkısız SAN-90 kiline göre su emme değerlerinin azaldığı görülmektedir. % porozite değerleri incelendiğinde ise Fe₂O₃ ilaveli formülasyonlarda genel olarak azalma görülürken, FeCl₃ ilavesi ile değişkenlik göstermektedir. % su emme değerlerindeki azalmanın sebebi, demir içeriğinin artması ile demirin daha yüksek sıcaklıklarda bir ergitici gibi davranmaya başlamasıdır. İlave edilen demir kaynakları ve oranlarına göre yoğunluk değerlerinin yaklaşık olarak aynı kaldığı gözlenmiştir.

Tablo 4. Formülasyonlara Ait Yoğunluk, Su Emme ve Porozite Değerleri.

Reçete No	% Su Emme	% Porozite	Yoğunluk	Reçete No	% Su Emme	% Porozite	Yoğunluk
1	1,42	3,40	2,39	7	1,42	3,40	2,39
2	0,65	1,62	2,47	8	2,12	5,00	2,36
3	1,04	2,60	2,50	9	1,98	4,72	2,39
4	0,10	0,27	2,56	10	0,49	1,20	2,46
5	1,07	2,70	2,53	11	3,23	7,67	2,38
6	0,11	0,28	2,62	12	2,85	6,80	2,38

1200°C 'de sinterlenmiş numunelerin L*a*b* değerleri Tablo 5' te verilmiştir. SAN-90 kilinin L* değerinin 76,49 olduğu ve demir ilaveleri ile birlikte azalmaya başladığı görülmektedir. Bunlara ek olarak demir eklendikçe a* değeri arttıkça kırmızılık artmaktadır. Bunun sebebinin de yüksek demir içeriklerinde, serbest demirin camı faz içerisine girmesi ve bünye renginin kırmızıya dönmesine neden olmasıdır.

Tablo 5. Formülasyonların L*a*b* Değerleri.

Reçete No	L*	a*	b*	Reçete No	L*	a*	b*
1	76,49	2,40	15,87	7	76,49	2,40	15,87
2	58,38	4,69	17,59	8	56,30	5,57	19,08
3	45,29	6,48	9,03	9	35,74	18,10	16,53
4	37,44	8,06	6,72	10	40,41	11,88	13,47
5	37,57	9,55	6,97	11	32,95	12,51	7,24
6	35,98	10,37	7,43	12	39,12	15,59	10,47

Tablo 6'da formülasyonlara ait nicel analiz verileri verilmiştir. SAN-90 kiline ait verilere bakıldığında %6 Fe₂O₃ ilavesi ile hematit fazı ortaya çıktığı görülmektedir. FeCl₃ ilaveli formülasyonlarda ise %4'den itibaren hematit fazı görülmektedir. Her iki demir kaynağı ilaveleri arttıkça mullit ve kuvars azalmış, kristobalit miktarı artmıştır.

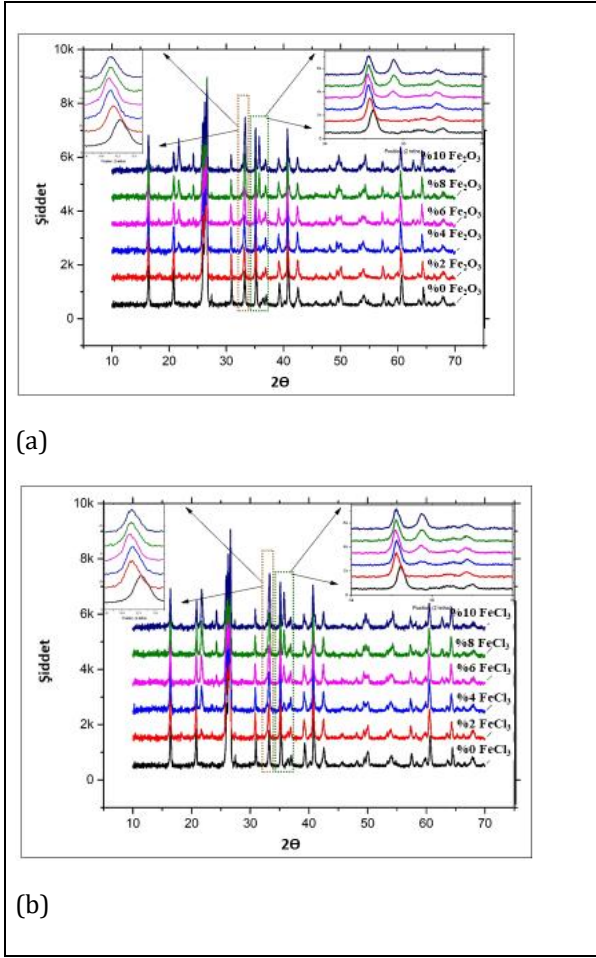
Kademeli olarak demir ilavesi ile mullit miktarı değişkenlik göstermekle beraber, kuvars miktarı

azalırken kristobalit miktarının da arttığı gözlenmiştir. Bu durumun sebebi olarak; demirin yalnız mullit yapısına değil kuvarsın yapısının içerisine girdiğini de göstermiş ve kuvarsın kristobalite dönüşmesini sağlamıştır.

Tablo 6. SAN-90 Kiline Ait Nicel Analiz Verileri.

Reçete No	Mullit	Kuvars	Toplam Kristobalit	Magnetit	Hematit	Toplam
1	72,33	27,14	0,33	0,00	0,19	99,99
2	76,97	22,42	0,6	0,01	0,00	100,00
3	77,79	18,98	1,51	0,94	0,78	100,00
4	74,77	18,22	2,39	1,13	3,49	100,00
5	70,94	18,59	3,14	0,68	6,66	100,01
6	68,56	14,91	6,27	0,64	9,62	100,00
7	72,33	27,14	0,33	0,00	0,19	99,99
8	75,47	22,96	1,49	0,00	0,08	100,00
9	76,57	18,16	4,03	0,02	1,22	100,00
10	73,1	17,23	5,06	0,75	3,85	99,99
11	70,04	15,69	6,52	0,94	6,81	100,00
12	67,88	13,49	7,84	1,02	9,76	99,99

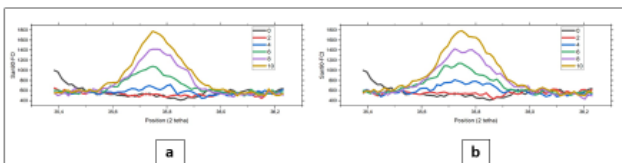
Şekil 5'te SAN-90 kili içerisine sırasıyla % Fe₂O₃ ve FeCl₃ eklenmiş numunelerin XRD görüntüleri verilmiştir. Sağ üst köşede yer alan grafik incelendiğinde kil içerisine %6 Fe₂O₃ ilavesi ile hematit piki net bir şekilde görülmektedir. Diğer demir kaynağında ise %4 FeCl₃ ilavesi ile hematit piki görülmeye başlanmaktadır. Bu veriler kantitatif analiz verileri ile desteklenmektedir.



Şekil 5. (A) Fe_2O_3 ve (B) $FeCl_3$ İlavesiyle 1200 °C 'de sinterlenmiş SAN-90 Kilinin XRD görüntüleri.

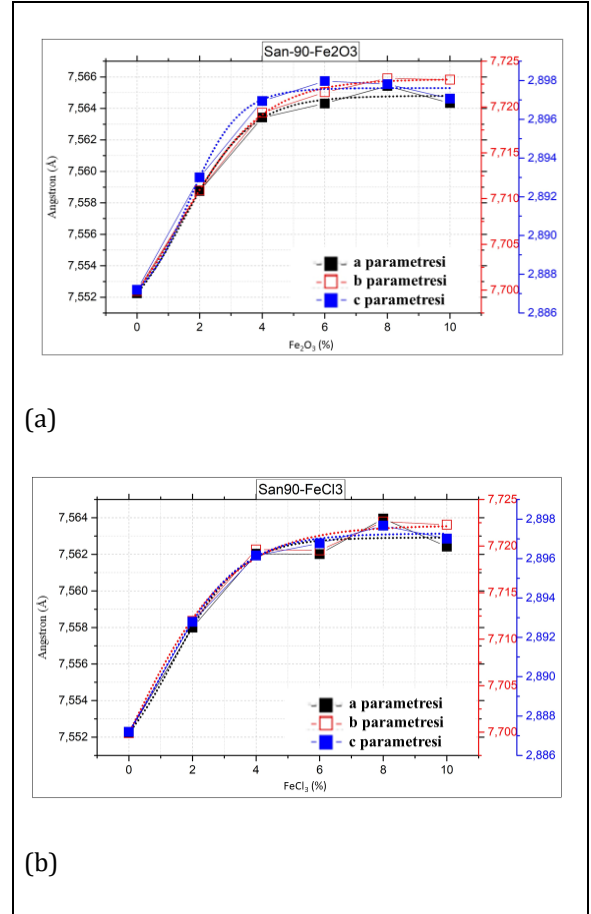
SAN-90 kili için; demir kaynağı olarak $FeCl_3$ tercih edildiğinde daha az kullanım ile de mullit içerisinde girebildiği belirtilebilir.

Şekil 6'da SAN-90 kiline ilave edilen % ağırlıkça ve $FeCl_3$ miktarına bağlı hematit faz gelişimi verilmiştir. Şekil 6(a)'da %6 Fe_2O_3 ilavesi ile yapıda hematit görülmeye başlamış ve kantitatif analiz sonuçlarına göre bu oran 3,49 'dur (Tablo 6). Şekil 6(b)'de %4 $FeCl_3$ ilavesinden ile hematit daha net görülmeye başlanmakta ve ilave miktarı arttıkça hematit oranı kademeli olarak artmaktadır.



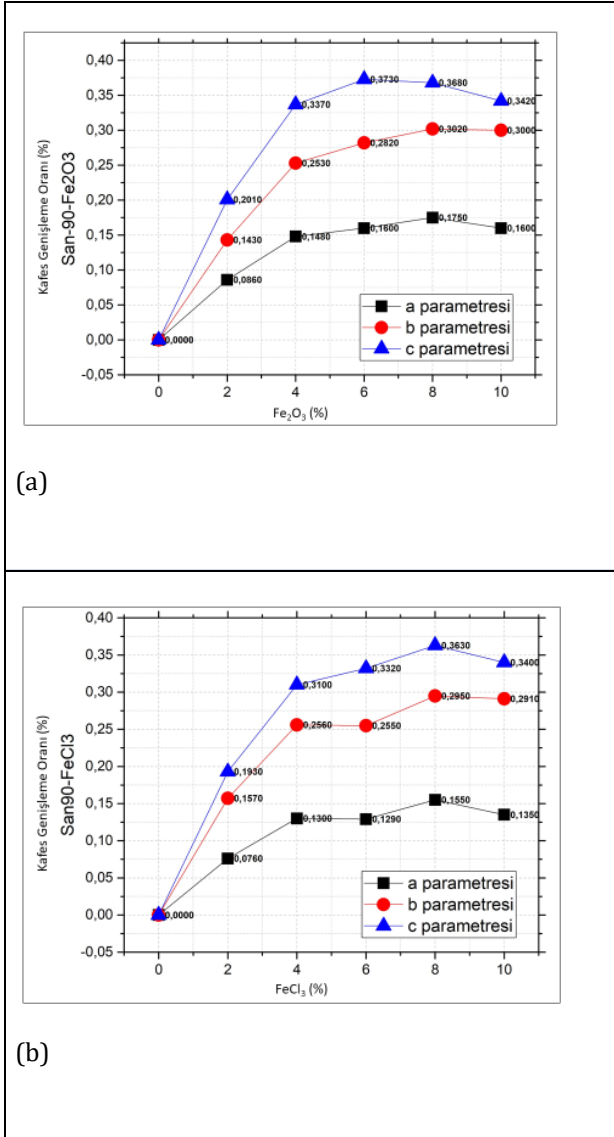
Şekil 6. (A) Fe_2O_3 ve (B) $FeCl_3$ Miktarlarına Bağlı Olarak Hematit Gelişimi.

Şekil 7'de SAN-90 kili içerisinde kademeli olarak Fe_2O_3 ve $FeCl_3$ ilavesi eklendikçe mullitin kafes parametreleri verilmiştir. SAN-90 kiline ilave edilen Fe_2O_3 oranı %6'ya kadar büyüdüktan sonra sabit kalmıştır. $FeCl_3$ ilavesinde ise %4'e kadar büyüdüktan sonra sabit kalmış ve ardından %8 ilave ile kafes parametrelerinde tekrar büyüme gözlemlenmektedir. a, b ve c parametrelerinde yaklaşık olarak aynı büyüme gerçekleşmiştir.



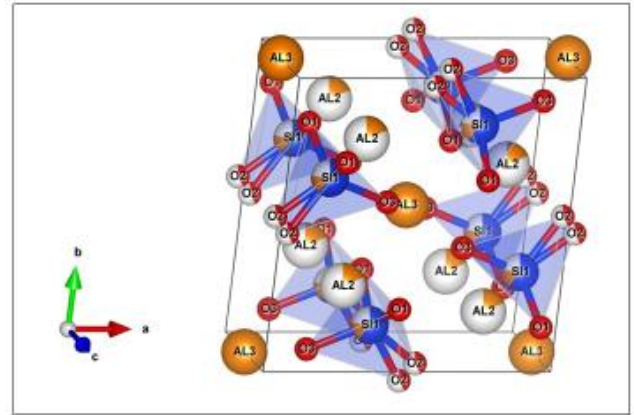
Şekil 7. (A) Fe_2O_3 ve (B) $FeCl_3$ İlavesiyle SAN-90 Kili İçerisindeki Mullitin Kafes Parametreleri.

Şekil 8'de mullitin kafes parametrelerinin genişleme oranları, SAN-90 kiline ağırlıkça % $Fe_2O_3/FeCl_3$ kademeli olarak eklenerek verilmiştir. SAN-90 kili içerisinde ilave edilen yaklaşık %6-8 Fe_2O_3 'e kadar kafes genişleme oranının arttığı ve daha fazla demir ilavesiyle yaklaşık olarak sabit kaldığı görülmektedir. $FeCl_3$ ilave edildiğinde ise %8'e kadar arttığı gözlemlenmektedir. Bu durum SAN-90 kilinin %8 ilavesine kadar $FeCl_3$ 'ün yapıya girdiğini kanıtlamaktadır.



Şekil 8. (A) Fe₂O₃ ve (B) FeCl₃ İlavesiyle SAN-90 Kili İçerisindeki Mullitin Kafes Parametrelerinin Genişleme Oranı.

Çok çeşitli geçiş metali katyonları, katı çözeltiler oluşturan mullit kafesindeki tetrahedral veya oktahedral bölgelerdeki Al³⁺ iyonunun yerini alabilir (Şekil 9). Bu bağlamda, geçiş metal oksitlerinin mullit içindeki çözünürlük sınırı, bir oksidasyon durumuna ve ikame edilmiş iyonun yarıçapına bağlıdır. Tüm bunlar dikkate alındığında c parametresinin daha fazla artmasının sebebinin Şekil 9'un sol alt köşesinde Al³⁺ atomunun bulunması olduğu düşünülmektedir. Bu durumun Fe³⁺ atomlarının boşluğa geçmesinden veya yerine Fe³⁺ ve Al³⁺ atomlarının geçmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

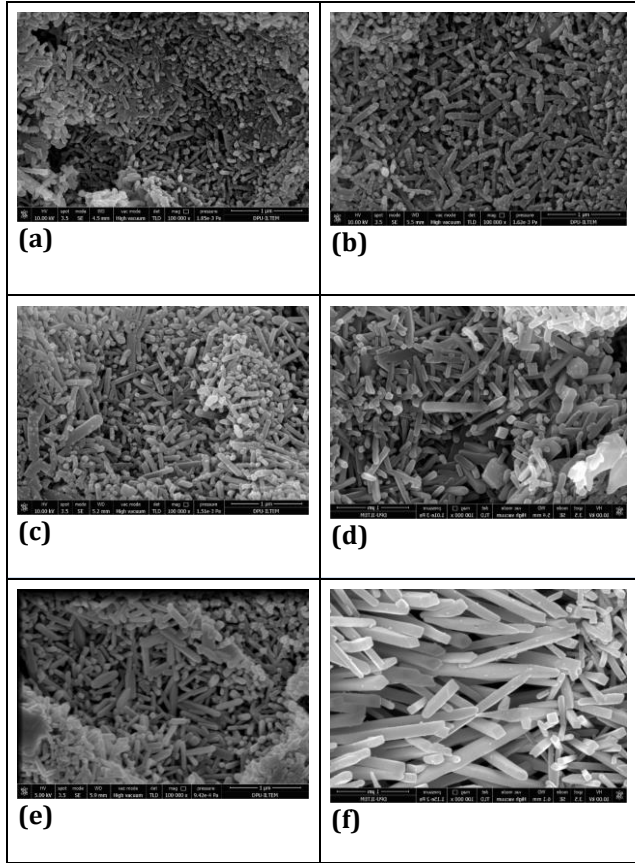


Şekil 9. SAN-90 Kili İçerisindeki Mullitin Birim Hücresi.

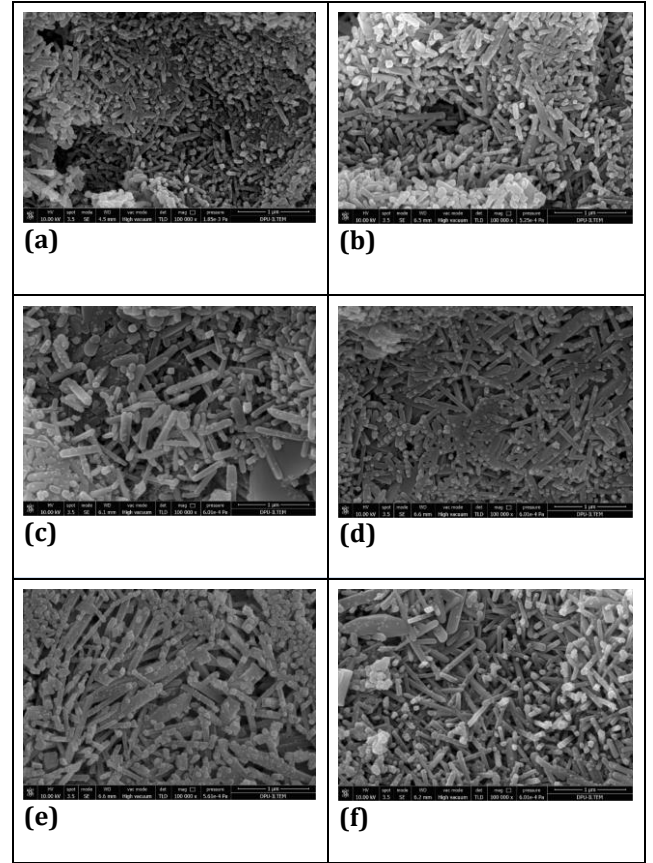
Genel olarak tüm mikroyapılarda müllit kristalleri net bir şekilde görülmektedir (Şek.10 ve Şek.11). Mullit kristalleri, güçlü bir şekilde anizotropik bir eğilime sahiptir. Oluşan kristaller büyük veya iğne görünümündedir. Yapıda oluşan demir ve diğer safsızlıkların avantajları da bulunmaktadır. Taneler arasındaki gözenekleri doldurur ve sinterleme sürecini iyileştirerek sıvı fazın oluşum sıcaklığını düşürürler. Ayrıca sıvı faz miktarını da arttırlar. Kristaller ne kadar büyük olursa, sıvı faz o kadar kontrol edilebilir. Oluşan mullit yapısının boyutu ve morfolojisi çalışma kolaylığı sağlayacağından, mullit yapıları ne kadar uzun ve büyükse, sıvı fazda o kadar tolere edilebilir. İğnemi yapıya sahip morfoloji, düşük demir içeriğine sahip mullit için tipikken, yüksek demir içeriğine sahip mullit kristallerinde çubuksu mullit taneleri ortaya çıkar. SEM görüntülerinde mullitin iğnemi ve çubuksu yapıları net bir şekilde görülmektedir. Bünyeye eklenen demir oranları arttıkça müllit kristallerinin büyümesi de artmıştır. Aynı zamanda, kristal parametrelerinin büyümesi ile mullitlerin büyümesi birbirini desteklemektedir.

Şekil 10'da sırasıyla katkısız SAN-90 kili, %2 Fe₂O₃, %4 Fe₂O₃, %6 Fe₂O₃, %8 Fe₂O₃ ve %10 Fe₂O₃ katkılı SAN-90 kiline ait SEM görüntüleri verilmiştir. %10 Fe₂O₃ katkılı SAN-90 kiline ait görüntüde mullit kristallerinin oldukça büyük çubuk halinde olduğu görülmektedir. Bu durum da yapıya giren demir oranı ve mullitlerin kristal büyümeleriyle doğru orantılıdır.

Şekil 11'de sırasıyla katkısız SAN-90 kili, %2 FeCl₃, %4 FeCl₃, %6 FeCl₃, %8 FeCl₃ ve %10 FeCl₃ katkılı SAN-90 kiline ait SEM görüntüleri verilmiştir. Yapıya giren FeCl₃ miktarı ile doğru orantılı olarak mullit kristalleri iğnemi yapıdan çubuksu yapıya dönüştüğü görülmektedir.

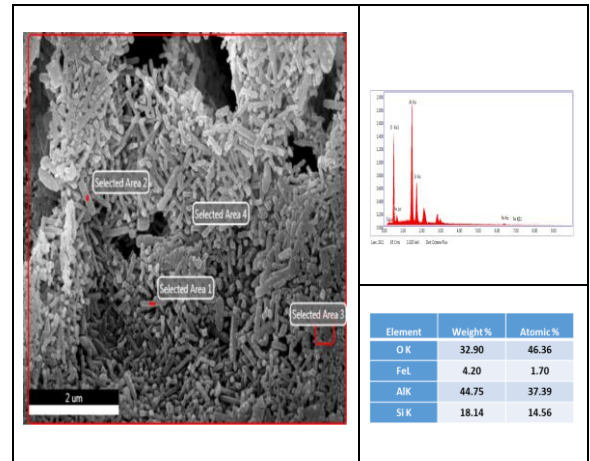


Şekil 10. (a) Katkısız SAN-90 Kili; (B) %2 Fe₂O₃ Katkılı SAN-90 Kili; (C) %4 Fe₂O₃ Katkılı SAN-90 Kili; (D) %6 Fe₂O₃ Katkılı SAN-90 Kili; (E) %8 Fe₂O₃ Katkılı SAN-90 Kili; (F) %10 Fe₂O₃ Katkılı SAN-90 Kili SEM Görüntüleri.

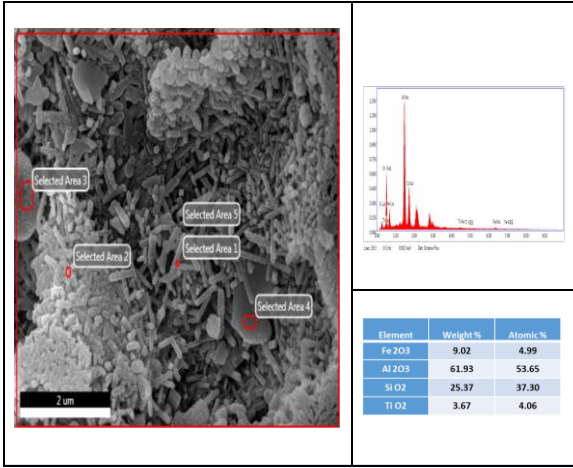


Şekil 11. (a) Katkısız SAN-90 Kili; (B) %2 FeCl₃ Katkılı SAN-90 Kili; (C) %4 FeCl₃ Katkılı SAN-90 Kili; (D) %6 FeCl₃ Katkılı SAN-90 Kili; (E) %8 FeCl₃ Katkılı SAN-90 Kili; (F) %10 FeCl₃ Katkılı SAN-90 Kili SEM Görüntüleri.

Şekil 12 ve Şekil 13’de SAN-90 kili içerisine sırasıyla %3 Fe₂O₃ ve %3 FeCl₃ ilave edilmiş numunelerin EDX analiz sonuçları yer almaktadır. Analiz sonuçlarına göre demir atomları mullit kristalleri içerisinde çözünmektedir. %3 FeCl₃ ilave edilmiş SAN-90 kilinde %3 Fe₂O₃ ilave edilmiş kile göre TiO₂ fazının oluştuğu gözlemlenmektedir.

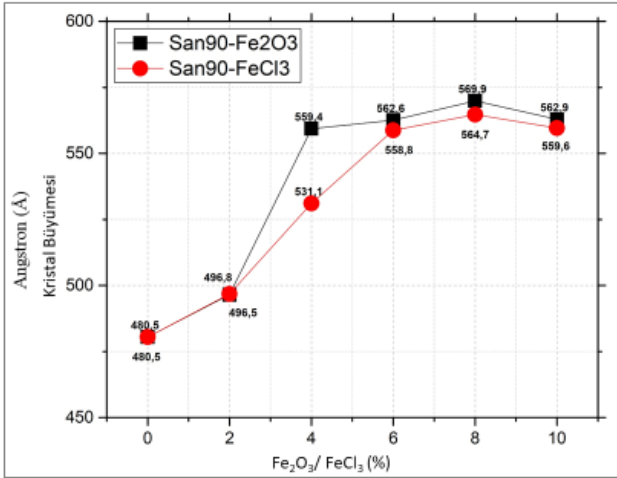


Şekil 12. Ağırlıkça %3 Fe₂O₃ İlave Edilmiş SAN-90 Kiline Ait EDX Analiz Sonuçları.



Şekil 13. Ağırlıkça %3 FeCl₃ İlave Edilmiş SAN-90 Kiline Ait EDX Analiz Sonuçları.

Şekil 14'te SAN-90 kilinin bünyesine giren demir kaynağına bağlı kristal büyüme verilmektedir. SAN-90 kiline ait grafik incelendiğinde her iki demir kaynağı ilavesinde de büyüme oranlarının yakın olduğu ve demir kaynağının çok da önemli olmadığı sonucu çıkarılabilir.



Şekil 14. Fe₂O₃ ve FeCl₃ Katkılı SAN-90 Kilinin Kristal Büyümesi.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada; farklı tipte demir kaynaklarının SAN- 90 kili içerisinde mullit oluşumu ve renklenmesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları aşağıdaki gibidir.

- %2'ye kadar Fe₂O₃/FeCl₃ ilavesiyle renk değişimi çok fazla etkilenmemiştir.
- Aynı zamanda demir kaynakları eklendikçe su emme oranları düşerken mullit oranları artar.

- Mullit oranının yüksek, kristobalit miktarının düşük olduğu görülmüştür.
- Demir ilavesi mullit oluşumunu artırır.
- %6 Fe₂O₃ ilavesi ile hematit görülmeye başlanmış ve bu değer kantitatif analiz sonuçlarına göre de 3,49'dur. FeCl₃ ilavesinde ise %4'de hematit daha net gözlemlenmektedir.
- SAN-90 kili içerisine ilave edilen demir kaynakları ile beraber güçlü bir mullit oluşumu gerçekleşmektedir.
- SAN-90 kili için; demir kaynağı FeCl₃ olduğunda daha az kullanım ile mullit içerisine girebilir.
- Genel olarak her iki demir kaynağı ilavesi sonucu kafes parametresi genişleme oranları artmaktadır. Bu durum aynı zamanda demirin yapıya girdiğini kanıtlamakta ve bu veriler kantitatif analiz sonuçları ile desteklenmektedir.
- Analiz sonuçları yüksek oranda mullit kristallerinin oluşmakta ve demir atomları mullit kristalleri içerisinde çözünmektedir. Bu sonuçlar da birim hücre kafes parametrelerinin genişlemesi ile desteklenmektedir.
- SAN-90 kili içerisine ilave edilen her iki demir kaynağı ilavesinde de büyüme oranlarının yakın olduğu ve demir kaynağının çok da önemli olmadığı sonucu çıkarılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Dumlupınar Üniversitesi'nin Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından sağlanan maddi destekle gerçekleştirilmiştir (Proje No: 2022-61). Sağladıkları destekten dolayı BAP birimine teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Akcıl, A. ve Tuncuk, A. (2006). Kaolenlerin Safsızlaştırılmasında Kimyasal ve Biyolojik Yöntemlerin İncelenmesi. Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi. 1(2). 59-69.
- Ceylantekin, R. ve Başar, R. (2018). Solid solution limit of Fe₂O₃ in mullite crystals, produced from kaolin by solid state reactions. Ceramics International, 44(7), 7599-7604. <https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2018.01.178>
- Duval, D. J., Risbud, S. H. & Shackelford, J. F. (2008). Mullite. Ceramic and Glass Materials: Structure, Properties and Processing, 27-39.

https://doi.org/10.1007/978-0-387-73362-3_2/COVER

- Elmas, E. (2009). Mullit oluşumunda mekanik aktivasyonun etkisi. (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Ilić, S., Ivanovski, V. N., Radovanović, Ž., Egelja, A., Kokunešoski, M., Šaponjić, A., & Matović, B. (2020). Structural, microstructural and mechanical properties of sintered iron-doped mullite. *Materials Science and Engineering: B*, 256, 114543. <https://doi.org/10.1016/J.MSEB.2020.114543>
- Koroğlu, Ç. (2007). Ağaçlı-Bolluca (İstanbul) yöresi seramik killerin malzeme özelliklerinin araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sarıtas, Z. (2023). Farklı Tipteki Killerden Oluşturulan Mullit İçinde Demir Çözünürlüğünün Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Lee, W. E. ve Iqbal, Y. (2001). Influence of mixing on mullite formation in porcelain. *Journal of the European Ceramic Society*, 21(14), 2583–2586. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(01\)00274-6](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(01)00274-6)
- Ozguven, F. E. (2011). Bir bentonitik kil içindeki simektit mineralinin nicel olarak belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Schneider, H. (1987). Solubility of TiO₂, Fe₂O₃ and MgO in mullite. *Ceramics International*, 13(2), 77–82. [https://doi.org/10.1016/0272-8842\(87\)90042-3](https://doi.org/10.1016/0272-8842(87)90042-3)
- Schneider, Hartmut, Fischer, R. X., & Schreuer, J. (2015). Mullite: Crystal structure and related properties. *Journal of the American Ceramic Society*, 98(10), 2948–2967. <https://doi.org/10.1111/JACE.13817>
- She, J. H. ve Ohji, T. (2003). Fabrication and characterization of highly porous mullite ceramics. *Materials Chemistry and Physics*, 80(3), 610–614. [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(03\)00080-4](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(03)00080-4)
- Sümer, A. (2002). Şile bölgesi yüksek tabanlı demirli taban killerin zenginleştirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.