



ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ

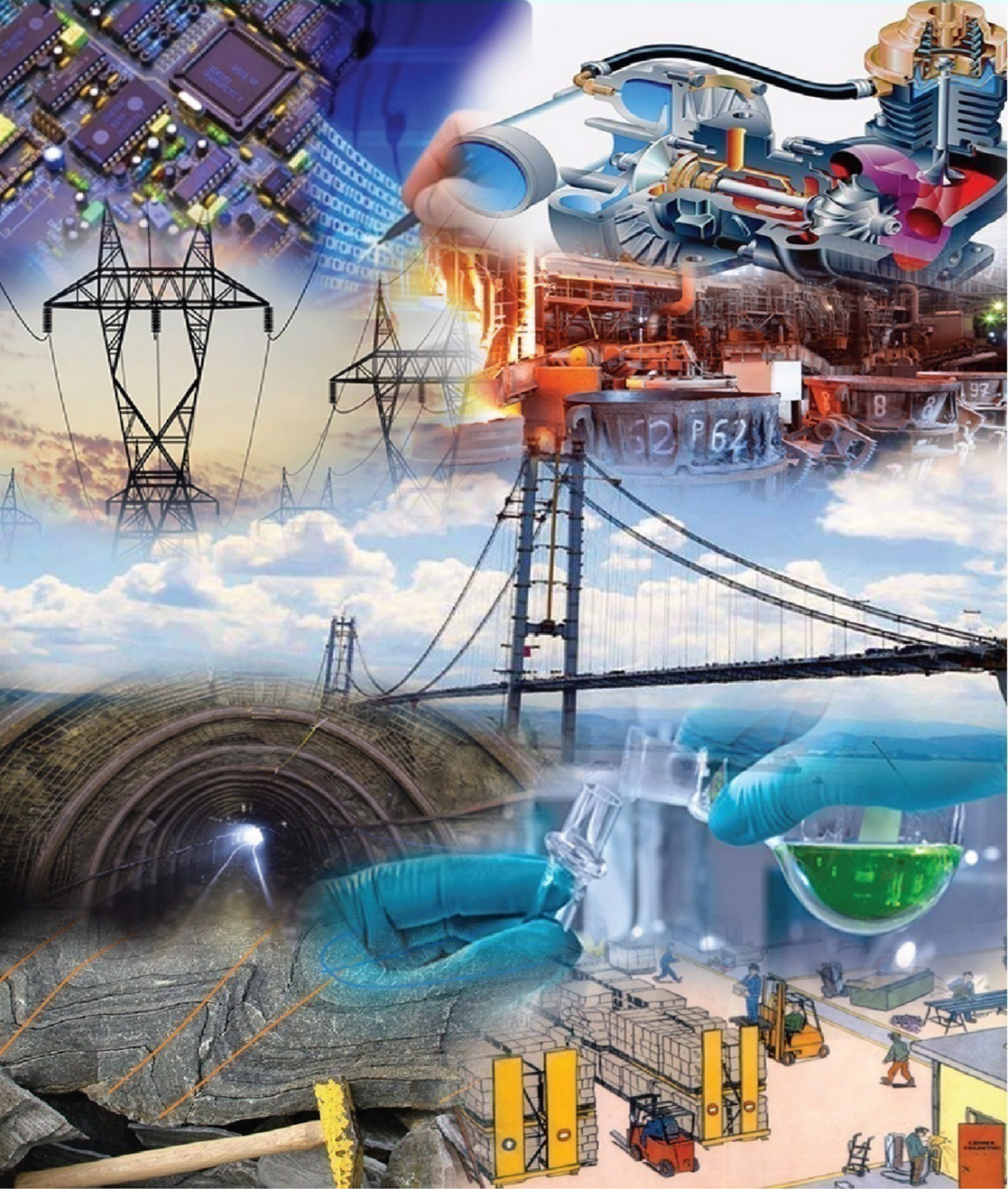
JOURNAL OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE FACULTY OF ESKİŞEHİR OSMANGAZI UNIVERSITY

Yıl / Year : 2022

Cilt / Volume : 30

Sayı/ Issue : 1

e-ISSN : 2630 - 5712





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

e-ISSN : 2630 - 5712

ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ

JOURNAL OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE FACULTY
OF ESKİŞEHİR OSMANGAZİ UNIVERSITY

YIL/YEAR : 2022

CİLT/VOLUME : 30

SAYI/ISSUE : 1



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

e-ISSN : 2630 - 5712

SAHİBİ / OWNER

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Adına
Prof. Dr. Muammer KAYA
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	Prof. Dr. Müjgan SAĞIR msagir@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	Prof. Dr. Ayşegül AŞKIN aaskin@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 S. Mine TOKER stoker@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. Zuhale 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 ÇETİNBAS ipekccetinbas@ogu.edu.tr
Endüstri Müh. / Industrial Engineering	Araş. Gör. Aslıhan KARAS aslihan.karas@ogu.edu.tr
İnşaat Müh. / Civil Engineering	Araş. Gör. Çağdaş KARA ckara@ogu.edu.tr



ÖN DEĞERLENDİRME / PRE-CONTROL

Bölüm	Adı ve Soyadı
Jeoloji Müh. / Geology Engineering	Araş. Gör. Duru CESUR daral@ogu.edu.tr
Kimya Müh. / Chemical Engineering	Araş. Gör. Fırat YILMAZ fiat.yilmaz@ogu.edu.tr
Maden Müh. / Mining Engineering	Araş. Gör. Dr. H. Serkan GÖKCEN sgokcen@ogu.edu.tr
Makine Müh. / Mechanical Engineering	Bünyamin ÖZTÜRK bunyamin.ozturk@ogu.edu.tr
Metalurji ve Malzeme Müh. / Metallurgical and Materials Engineering	Araş.Gör. Dr. Alanur BİNAL AYBAR abinal@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	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 İSPARTA
Doç. Dr. Cenk KARAKURT	Bilecik Şeyh Edebalı 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 Edebalı 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

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



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

- ❖ Bilgisayar 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 çalışmalarını 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
- ❖ 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

<u>Araştırma Makaleleri / Research Articles</u>	<u>Sayfa</u>
Energy Utilization Impacts in Detecting Abnormality on Wireless Sensor Networks Kablosuz Sensör Ağlarında Anormalite Tespit Etmede Enerji Kullanımının Etkileri Zuhal CAN, Elif DEĞİRMENCİ	1 - 6
Döküm Kalıplarının Döküm Tezgâhlarına Atanması Problemi İçin Bir Genetik Algoritma A Genetic Algorithm for The Problem of Assigning Casting Molds to Casting Machines Esin İZCİ, Nazife KARABULUT, Tuğba SARAÇ	7 - 15
Jips Artığından Taguchi Yaklaşımı Kullanılarak Çöktürülmüş Kalsiyum Karbonat (ÇKK) Üretimi Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Production From Gypsum Waste Using Taguchi Approach Soner TOP , Mahmut ALTINER, Burçin KAYMAKOĞLU	16 - 30
Genleştirilmiş Polistiren Granülleri İçeren Hafif Betonların Sertleşmiş Haldeki Özellikleri Properties of Lightweight Concrete Containing Expanded Polystyrene Beads Mehmet CANBAZ, Mustafa EZİCİ	31 - 38
Covid-19 Vaka Sayılarının Ülkeler Bazında Küresel Sağlık Endeksleri İle Değerlendirilmesi Evaluation of Covid-19 Case Numbers With Global Health Indices By Countries Merve DOĞRUEL, Seniye ÜMİT FIRAT,	39 - 52
Omuz Hasarlı Hastalar İçin Cocomodel İle Telerehabilitasyon Uygulaması Telerehabilitation Application With Cocomodel For Patients With Shoulder Damage Sedef KILIÇÇEKEN, Burakhan ÇUBUKÇU, Uğur YÜZGEÇ	53 - 60
Erciş İlçesi Hasarlı Yapı Stoğunun Sokaktan Tarama Yöntemi İle Değerlendirilmesi Evaluation of The Damaged Building Stock in Ercis District By Visual Screening Procedure Hakan BİLİCİ, Hande GÖKDEMİR, Handan KÜNKÜ	61 - 67
Kataforez Kaplamalı Çelik Yüzeyle Uygulanan Dupleks Kaplamannın Korozyon Dayanım Performansı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi Investigation of The Effect of Duplex Coating Applied on Cataphoresis Coated Steel Surfaces on Corrosion Resistance Performance Muhammed KILINÇ, Levent AKYALÇIN	68 - 78
Investigation of The Relationship Between The Bond Grindability Test and The Static and Dynamic Strength of Rocks Kayaçların Bond Öğütülebilirlik Testi İle Statik Ve Dinamik Dayanımı Arasındaki İlişkinin Araştırılması Yakup UMUCU , Y. Hakan GÜRİSOY	79 - 89
Domates Hastalığı Tahmini İçin Gerçek Zamanlı Uygulama Real-Time Application For Tomato Disease Prediction Doğukan DEMİRCİ, Esmenur SARAÇBAŞI, Emre EMRAH, İsmail UZUN, Yakup GENÇ, Kemal ÖZKAN	90 - 95



Araştırma Makaleleri / Research Articles

Sayfa

- Eş Merkezli İç İç Borulu Isı Değiştiricisinde Isı Transferi İyileştirme Yöntemlerinin Sayısal Analizi** 96 - 105
Numerical Analysis of Heat Transfer Improvement Methods in Concentric Tube Heat Exchanger
Edanur KARACA, Özge ALTUN
- Modelling of Magnesite Flotations With Two Different Collectors: Biocollector and Oleate** 106 - 114
İki Farklı Toplayıcı İle Yapılan Manyezit Flotasyon Süreçlerinin Modellenmesi: Biyotoplayıcı Ve Oleat
Derya ÖZ AKSOY, Serhat ÖZDEMİR, Sabiha KOCA, Hakan ÇAKMAK, Pınar AYTAR ÇELİK, Ahmet ÇABUK, Hüseyin KOCA
- Dalgacık Uyumu Analizi İle Optimum Viskoz Damper Kapasitesi Hesabı** 115 - 122
Optimization of Viscous Damper Capacity By Wavelet Coherence
Elif Çağda KANDEMİR
- Investigation of The Entrainment of Fine Sized Calcite and Chromite Particles By a Flotation Column With Negative Bias Regime** 123 - 129
Negatif Bias Rejimine Sahip Bir Flotasyon Kolonu İle İnce Boyutlu Kalsit Ve Kromit Tanelerinin Sürüklenmesinin Araştırılması
Kemal BİLİR
- Influence of Input Motion Scaling Methods on The Drift Response of Decoupled SSI Dynamic Analysis** 130 - 140
Deprem İvme Hareketi Ölçeklendirme Yöntemlerinin SSI Dinamik Analizi Üzerindeki Etkisi
Yusuf GÜZEL, Fidan GÜZEL
- Selection of An Appropriate Personal Protective Equipment Using The Analytic Hierarchy Process** 141 - 151
Analitik Hiyerarşi Prosesi Metodu İle Uygun Kişisel Koruyucu Ekipman Seçimi
Nilufer KURSUNOĞLU, Seyhan ONDER, Mustafa ONDER

ENERGY UTILIZATION IMPACTS IN DETECTING ABNORMALITY ON WIRELESS SENSOR NETWORKS

Zuhal CAN ^{1*}, Elif DEĞİRMENCİ ²

¹ Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Eskişehir, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-6801-1334>

² Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Eskişehir, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-8772-4543>

Keywords	Abstract
Wireless sensor networks, Energy utilization	<i>With the novel developments in Wireless Sensor Network (WSN) technologies, environmental data collection and processing services are applied in diverse industrial and scientific areas. However, energy limitations and vulnerabilities of WSN nodes are still the main drawbacks of technological developments in the area. Understanding the energy utilization patterns of nodes helps to detect abnormal node behaviors and prevent malicious nodes. In this study, we observe the energy utilization behaviors of nodes and found that nodes have distinctive activity patterns based on their types. We also found that source, sink, and relay nodes on the data propagation path have higher energy consumption patterns compared to other nodes.</i>

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARINDA ANORMALİTE TESPİT ETMEDE ENERJİ KULLANIMININ ETKİLERİ

Anahtar Kelimeler	Öz
Kablosuz sensör ağları, Enerji kullanımı, Ns2	<i>Kablosuz Sensör Ağları (KSA'lar) teknolojilerindeki yeni gelişmelerle birlikte, çevresel veri toplama ve işleme hizmetleri, çeşitli endüstriyel ve bilimsel alanlarda uygulanabilir durumdadır. Bununla birlikte, KSA düğümlerinin enerji kısıtlamaları ve güvenlik açıkları hâlâ bu alandaki teknolojik gelişmelerin ana dezavantajlarından. Düğümlerin enerji kullanım biçimlerini anlamak, anormal düğüm davranışlarını tespit etmeye ve kötü niyetli düğümleri önlemeye yardımcı olur. Bu çalışmada, düğümlerin enerji tüketimi davranışlarını gözlemleyerek, düğümlerin türlerine özgü aktivite biçimleri olduğu sunucuna vardık. Bunun yanında, veri kaynağı, veri sorgulayıcısı ve veri yayılma yolundaki iletilen düğümlerin, diğer düğümlere kıyasla, daha yüksek enerji tüketimi biçimine sahip olduğu sonucuna varmış bulunuyoruz.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 28.01.2021	Submission Date : 28.01.2021
Kabul Tarihi : 16.12.2021	Accepted Date : 16.12.2021

1. Introduction

Wireless Sensor Networks (WSNs) have applications in diverse areas such as military, underwater, underground and unattended terrestrial environments, where maintenance of network units is not always convenient and practical (Bayrakdar, 2019a, 2019b). WSN nodes are prone to failure due to their energy-limited and vulnerable structure. Although WSN has a failure-prone structure, WSN applications are developed to extend network lifetime as long as possible.

Energy efficiency and security techniques help to determine the network lifetime. The main metric that determines a network's lifetime is the energy utilization of network units (Bayrakdar, 2019c, 2019d, 2020). While an expected energy utilization pattern of nodes helps to determine network lifetime, abnormal activities like node failures or security attacks (Hari and Singh, 2016) can shorten the network lifetime, unpredictably. Early detection of abnormal activities helps to ameliorate the failure-prone and malicious network units' negative effects on the network lifetime.

* Corresponding Author; e-mail : zcan@ogu.edu.tr

In this paper, we observe the typical energy utilization patterns of network units in a simulation environment for differentiating between normal and abnormal activity patterns. In section 2, we provide a literature review on WSN security attacks. In Section 3.1, we describe our WSN model. In Section 3.2, we define our simulation parameters and simulation details. Our simulation results are explained in Section 4, and we discuss and conclude the paper in Section 5.

2. Scientific Literature Review

Routing protocols are developed while strengthening their security mechanisms. As listed in Table 1, many researchers have proposed hierarchical and tree-based routing solutions for Wireless Sensor Networks while integrating novel security solutions.

ORLEACH protocol (Sahraoui and Bouam, 2013) is proposed based on RLEACH protocol (Zhang, Wang and Wang, 2008) for intrusion detection systems. ORLEACH has several phases: Shared key discovery phase, Cluster setup phase, isolation of previously detected attackers, data transmission, intrusion detection and alerting phases.

Secure Cluster-Based Multipath Routing Protocol (SCMRP) (Kumar and Jena, 2010) proposes secure clustering routing and multipath routing algorithms. This protocol has five phases: to find the neighbors and set up the network topology, pairwise key distribution, cluster evolution, transmission of data, re-clustering, and re-routing. Each node shares the neighbor list with the base station. Each link has pairwise keys that are generated by a basestation. In this protocol, security is provided using cryptography techniques.

The secure hybrid routing protocol (SHRP) (Muthusenthil and Kim, 2017) combines the geographical and hierarchical schemes. The protocol developed a cluster head selection method based on central weight, residual-energy, and mobility factors. Security is developed considering confidentiality, integrity, and authenticity using the symmetric and asymmetric cryptosystem techniques.

In the Hierarchical Multipath Routing Protocol (HMR-WSN) (Jadidoleslamy, 2017), time division is ensured by the number of super-rounds. Each super-round has multiple time intervals. In all super-rounds, multiple Cluster-Heads (CHs) are selected at each time interval. Using different cluster-heads at different time intervals ensures security against selective forwarding and sinkhole attacks.

Secure and Low-energy Zone-based Routing Protocol (SeLeZoR) (Mehmood, Lloret and Sendra, 2016) is proposed for secure and energy-efficient hierarchical routing in WSN. In the proposed protocol, nodes are first separated into zones, and each zone is separated into clusters. Data is transmitted via nodes to cluster-heads, then each cluster head sends data to zone-head via a

secret key. Each zone-head transmits data with a secure key management system to the base station. The zone technique increases the packet delivery ratio, ensures the data reliability, reduces the base station communication load, and controls the network communication.

In (Moulad, Belhadaoui and Rifi, 2017), a hierarchical hybrid intrusion detection mechanism is implemented utilizing cluster-based protocols in WSNs. In this study, the IDS system is combined with different techniques to overcome intrusion and malicious activities based on the classification of behaviors as normal and anomaly. With signature-based anomaly detection, attacks in previous malicious behavior patterns have been detected using a specification-based technique.

In (Brindha and Senthilkumar, 2019), security, network lifetime, and control overhead are improved using the Augmented Tree-Based Routing approach developed for multipath routing protocol problems. In this approach, the Lightweight encryption algorithm (LEA) and two-phase hybrid cryptography algorithm (THCA) are used for enhancing security.

Table 1

Literature review by network structure

Paper	Year	Network structure
ORLEACH	2013	Hierarchical
SCMRP	2010	Hierarchical
SHRP	2017	Hierarchical
HMR-WSN	2017	Hierarchical
SeLeZoR	2016	Hierarchical
Moulad et al.	2017	Hierarchical
Brindha et al.	2019	Tree-based

3. Method

3.1. System and Security Model

Research and publication ethics were followed in this study.

We use Gear protocol (Yu, Govindan and Estrin, 2001) as the data collection and routing protocol for our network analyzes. Gear protocol provides a data-centric and distributed routing mechanism. Using the Gear protocol, nodes communicate with their neighbor nodes for data transmission, and, do not resort to a central authority for having the network topology. At the beginning of the communication, nodes send and receive broadcast messages and built up their neighborhood information.

Table 1

Energy Parameters

Description	Parameter	Value
Cross-over distance for Friss and two-ray ground attenuation models	$d_{crossover}$	$\sqrt{\frac{2 \sqrt{16\pi^2 h_t^2 h_r^2 L}}{\lambda^2}}$
Transmission power	P_t	$E_{friss-amp} R_b d^2 : d < d_{crossover}$ $E_{two-ray-amp} R_b d^4 : d \geq d_{crossover}$
Receive power	P_r	$\frac{E_{friss-amp} R_b G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2} : d < d_{crossover}$ $E_{two-ray-amp} R_b G_t G_r 2 h_t^2 h_r^2 : d \geq d_{crossover}$
Radio amplifier energy	$E_{friss-amp}$ $E_{two-ray-amp}$	$\frac{P_r - thresh (4\pi)^2}{R_b G_t G_r \lambda^2}$ $\frac{P_r - thresh}{R_b G_t G_r h_t^2 h_r^2}$
Receiver Power Threshold	$P_r - thresh$	6nW
Bitrate	R_b	1 Mbps
System (non-propagation) loss	L	1.0
Height of transmitter and receiver antennas	h_t, h_r	1.5m
Antenna gain factor	G_t, G_r	1
Radio electronics energy	E_{elec}	50nJ
Signal wavelength	λ	Speed of Light/freq
Carrier frequency	freq	$914 * 10^6$

Some of the network nodes are assigned as the source and sink nodes. Source nodes are responsible for event detection. Whenever they detect an event, they store and process event data. The source node can aggregate different types of event information. Sink nodes request data from the network by broadcasting a subscription message into the network. A source node that receives sink messages and has the related data, replies periodically to the sink node with the corresponding data information. Other nodes on the data propagation path, transmit messages between the source and sink nodes.

For our network models, to understand typical node activities, we assume that the network is failure-free. Network nodes are deployed in a flat network topology and do not have distinctive properties from each other. Nodes are static and preserve their initial position. They are initially and deterministically deployed on the deployment area.

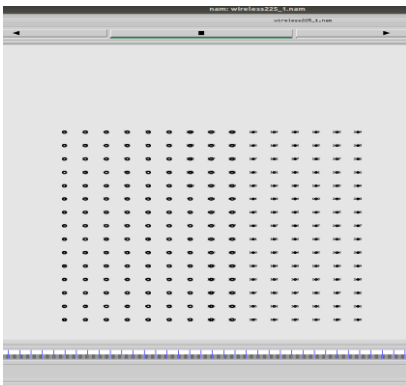


Figure 1. The network structure visualized by NAM tool

Table 2

Simulation Parameters

Parameter	Value
Number of nodes	25, 50, 100, 150, 200, 250
Network dimensions	4, 6, 9, 11, 13, 14
Number of sinks	1-5
Basic Routing Protocol	Gear
Deployment	Grid
Grid cell size	150 * 150
Interest packet length	36 bytes
Event packet length	50 bytes
Interest and event interval	5s and 50s
Channel bit rate	1.6 Mb/s

3.2. Simulation Environment

We run our simulations in the ns2 simulator. Figure 1 depicts the network structure of our simulations in ns2 environment regardless of the network size; network size changes in each simulation. This figure is captured by NAM which is a visualization tool for ns simulations.

In our simulations, any node in the network can be a sink or a source node. We selected sink and source nodes from the vertices of the network. Our energy consumption parameters are shown in Table 1. Our simulation parameters are listed in Table 2.

4. Results

We explain some of our findings regarding the network dimension. Network dimension is the total number of

hops between the furthest away nodes on a network. For example, on a network of 25 nodes, the network dimension is 4 hops.

In our simulations, source and sink nodes are selected from the diagonal vertices of the network. By the underlying routing protocol, data is transmitted through the nodes on the shortest path between source and sink nodes. We call nodes on the transmission path as data relay nodes.

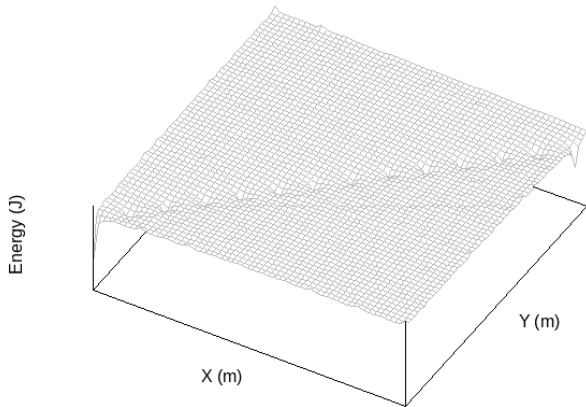


Figure 2. Remaining energy of network nodes in a network of 200 nodes

Figure 2 demonstrates the remaining energy of nodes. In this figure, as shown with the holes on the diagonal path, source, sink and relay nodes on the transmission path consume more energy comparing the rest of the network. We call these high energy-consuming nodes, source, sink, and data relay nodes on the transmission

path between them, as active nodes. Active nodes' energies deplete faster than the rest of the network.

Figure 3 demonstrates the node activity frequency by time. For this simulation data is collected whenever nodes consume energy more than a threshold. In this simulation, a sink periodically receives data packets from the source node. As shown in this figure, the source node, the sink node, and the nodes on the transmission path between them are frequently active and continuously consume energy. We found that the sink node consumes more energy than the source node.

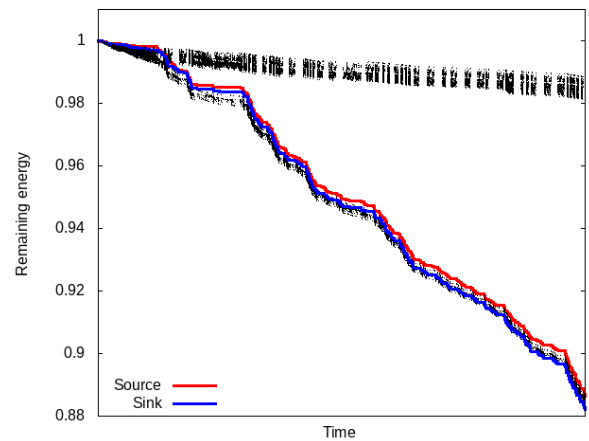


Figure 3. Remaining energy on various type of nodes in a network of 150 nodes. Black data points represent data of network nodes which are other than source and sink nodes

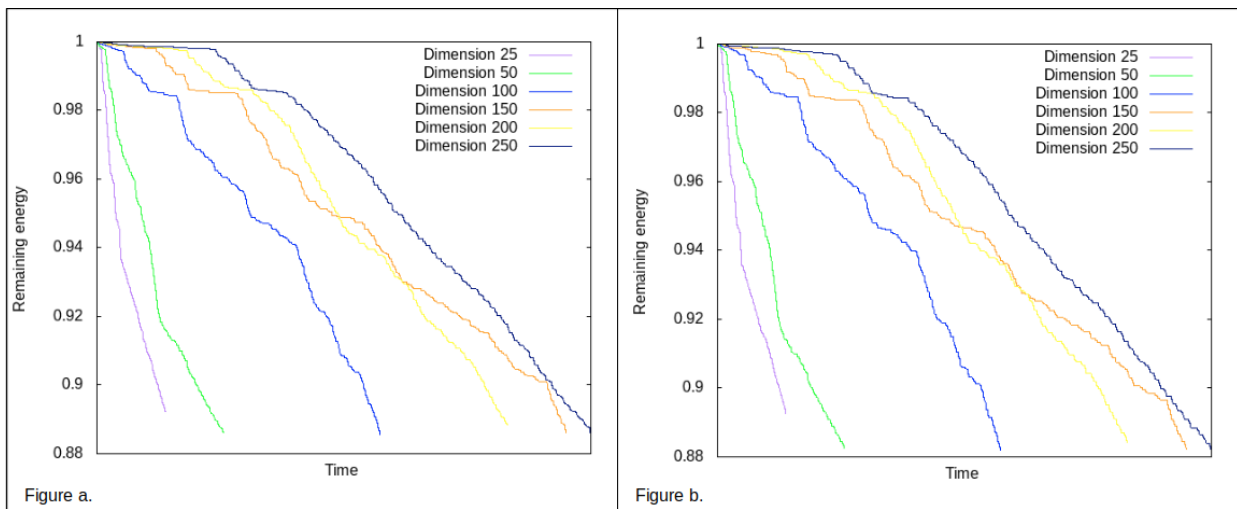


Figure 5. Number of received and sent packets by a source and sink node concerning network dimensions. a. Number of received packets by a source node. b. The number of sent packets from a sink node

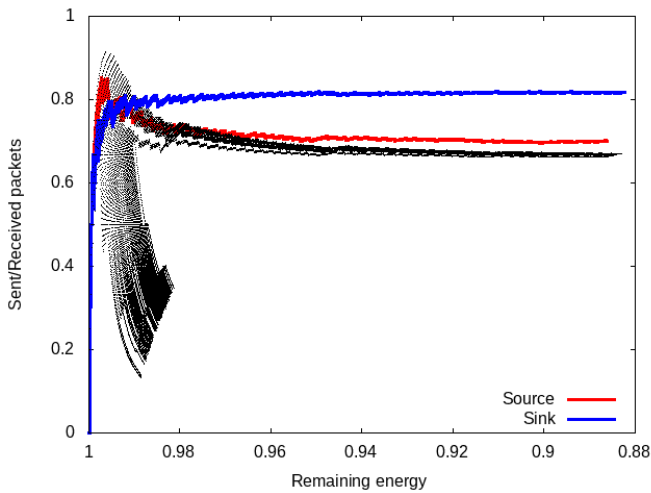


Figure 4. Ratio of sent packets to received packets by remaining energy on various type of nodes in a network of 150 nodes. Black data points represent data of network nodes which are other than source and sink nodes

Figure 4 represents the activity patterns of nodes by energy consumption. In this figure, the black line just below the source and sink data lines represent the energy consumption of data relay nodes on the data transmission path between source and sink nodes. As shown in this figure, inactive nodes consume a small portion of their energy, while active nodes consume a high amount of energy.

We evaluate the energy depletion behavior of source and sink nodes in a network in which a single source node and a single sink node exist. Figure 5.a and Figure 5.b represent the energy depletion behavior of the source node and sink node for various network sizes in terms of network dimensions. We found that the size of a network does not affect the amount of consumed energy at the source and the sink node. However, as the network dimension increases the source node and the sink node accomplish their tasks in a longer duration.

Figure 6 demonstrates the energy utilization of the source node as the number of sink nodes in a network increases. A single source node replies to all requests from all sink nodes. As the number of sink nodes increases, network load on a single source node increases, and consequently, causes a higher energy consumption at the source node.

5. Discussion and Conclusion

Energy utilization is an important parameter for understanding typical node behavior. Any abnormal energy utilization behavior in contrast to the typical energy utilization behaviors helps to detect abnormal nodes in a WSN. We found that different types of nodes

have different activities, and, different behavior of energy utilization, in correspondence. Sink, source, and data relay nodes on the data transmission path have a high energy utilization behavior comparing to other nodes. A source node's energy consumption gets higher as the number of sink nodes in a network increases.

In this study, we only observe the energy utilization behaviors of the typical nodes, not of the abnormal nodes. We expect that a faulty or malicious node would give a warped result compared to typical node behavior results. The energy utilization behavior of abnormal nodes and their detections are left as future works.

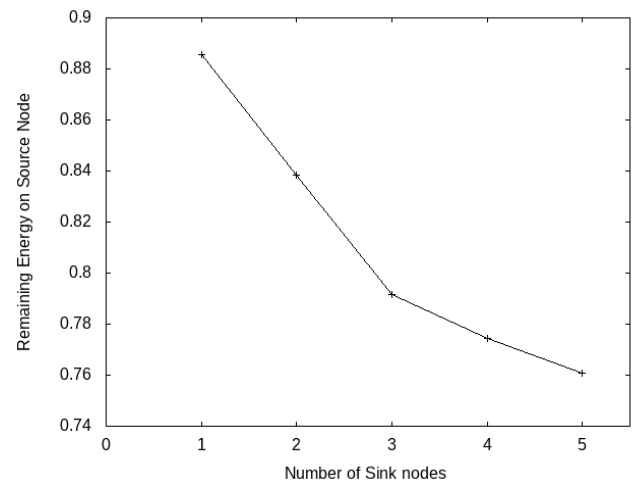


Figure 6. Remaining energy on source node by number of sink nodes in a network of 100 nodes

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Bayrakdar, M. E. (2019a). Kablosuz Yeraltı Algılayıcı Ağlar için Düğüm İletişiminde Derinlik Faktörünün Analizi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (2), 93-9. <https://doi.org/10.31796/ogummf.545943>
- Bayrakdar, M. E. (2019b). Kablosuz Algılayıcı Ağlarda En Az Sayıda Düğüm Kullanımı için Maliyet Etkin Algılayıcı Düğüm Yerleştirme Yaklaşımı, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6, 59-73. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.566951>
- Bayrakdar, M. E. (2019c). Karasal algılayıcı ağlarda gözlemlene için enerji etkin TDMA erişim tekniği, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*,

21 (2), 756-765.
<https://doi.org/10.25092/baunfbed.643924>

Bayrakdar, M. E. (2019d). Yeraltı Algılayıcı Ağlarda Kayıpsız Veri İletimi için Sezme tabanlı Ortam Erişim Tekniğinin Başarım Analizi, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (2), 1028-1035. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.545497>

Bayrakdar, M. E. (2020). Kablosuz Algılayıcı Ağlar için Gecikme Duyarlı CSMA Ortam Erişim Tekniğinin Performans Değerlendirmesi, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12 (1), 227-235. <https://doi.org/10.29137/umagd.599000>

Brindha, P., & Senthilkumar, A. (2019). Data dependability based bimodal encryption scheme for distributed routing in wireless sensor networks. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s12083-019-00813-4>

Hari, P. B., & Singh, S. N. (2016, April). Security issues in Wireless Sensor Networks: Current research and challenges. In 2016 International Conference on Advances in Computing, Communication, & Automation (ICACCA)(Spring) (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICACCA.2016.7578876>

Jadidoleslami, H. (2017). A hierarchical multipath routing protocol in clustered wireless sensor networks. *Wireless Personal Communications*, 96(3), 4217-4236. <https://doi.org/10.1007/s11277-017-4382-1>

Kumar, S., & Jena, S. (2010, December). SCMRP: Secure cluster based multipath routing protocol for wireless sensor networks. In 2010 Sixth International conference on Wireless Communication and Sensor Networks (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WCSN.2010.5712294>

Mehmood, A., Lloret, J., & Sendra, S. (2016). A secure and low-energy zone-based wireless sensor networks routing protocol for pollution monitoring. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 16(17), 2869-2883. <https://doi.org/10.1002/wcm.273>

Moulad, L., Belhadaoui, H., & Rifi, M. (2017). Implementation of a hierarchical hybrid intrusion detection mechanism in wireless sensors network. *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, 8(10), 270-

278.
<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2017.081035>

Muthusenthil, B., & Kim, H. (2017). SHRP-Secure Hybrid Routing Protocol over Hierarchical Wireless Sensor Networks. *International Journal of Computers Communications & Control*, 12(6), 854-870. <https://doi.org/10.15837/ijccc.2017.6.2909>

Sahraoui, S., & Bouam, S. (2013). Secure routing optimization in hierarchical cluster-based wireless sensor networks. *International Journal of Communication Networks and Information Security*, 5(3), 178. <https://www.proquest.com/docview/1511428760>

Yu, Y., Govindan, R., & Estrin, D. (2001). Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks. *Technical report ucla/csd-tr-01-0023, UCLA Computer Science Department*. http://www.ics.uci.edu/~dsm/ics280sensor/readings/networks/Estrin_geo-routing01.pdf

Zhang, K., Wang, C., & Wang, C. (2008, October). A secure routing protocol for cluster-based wireless sensor networks using group key management. In 2008 4th international conference on wireless communications, networking and mobile computing (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WiCom.2008.889>

DÖKÜM KALIPLARININ DÖKÜM TEZGÂHLARINA ATANMASI PROBLEMİ İÇİN BİR GENETİK ALGORİTMA

Esin İZCİ¹, Nazife KARABULUT², Tuğba SARAÇ^{3*}

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-1594-0068>

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-7784-9737>

³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir,

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

Anahtar Kelimeler	Öz
Genelleştirilmiş atama problemi (GAP), Genetik algoritmalar (GA), Tamsayı programlama, Döküm kalıplarının atanması, Seramik sektörü, Çok amaçlı programlama	<i>Klasik atama problemi, her işin n ajandan sadece birisine toplam maliyeti enküçükleyecek şekilde atanması problemidir. Bu problemde her ajana sadece bir iş atanabilmektedir. Genelleştirilmiş Atama Probleminde (GAP) ise bir ajana birden çok iş atanabilmektedir ve ajanların kapasitesi vardır. Bu çalışmanın motivasyon kaynağı bir seramik fabrikasının klasik döküm bölümünde yaşanan döküm kalıplarının döküm tezgâhlarına atanması problemidir. Bu problem GAP'ın bir versiyonudur. Ele alınan problemin çözümü için çok amaçlı bir matematiksel model önerilmiştir. Ayrıca büyük boyutlu problemlerin önerilen matematiksel model ile çözülememesi nedeniyle bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ile çalışmanın gerçekleştirildiği işletmenin farklı boyutta üç problemi çözülmüş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.</i>

A GENETIC ALGORITHM FOR THE PROBLEM OF ASSIGNING CASTING MOLDS TO CASTING MACHINES

Keywords	Abstract
Generalized assignment problem (GAP), Genetic algorithms (GA), Integer programming, Casting molds assignment, Ceramic sector, Multi-objective programming	<i>The classical assignment problem is that each job is assigned to only one of the n agents to minimize the total cost. In this problem, only one job can be assigned to each agent. However, if more than one job can be assigned to an agent and the agents have the capacity, this problem is called the Generalized Assignment Problem (GAP). The motivation of this study is assigning the casting molds to the casting benches in the classical casting department of a ceramic factory. This problem is a version of GAP. A multi-objective mathematical model is proposed for the solution of the considered problem. In addition, a genetic algorithm is developed since large-scale problems cannot be solved with the proposed mathematical model. The developed algorithm solves the three different size problems of the factory where the study is carried out, and obtained results are discussed.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 15.04.2021

Submission Date : 15.04.2021

Kabul Tarihi : 25.11.2021

Accepted Date : 25.11.2021

* Sorumlu yazar; e-posta : tsarac@ogu.edu.tr



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

Kapasite kısıtları dâhilinde işlerin ajanlara atanmasını ele alan problem genelleştirilmiş atama problemidir. Klasik atama probleminde ajanların ve işlerin bire bir eşleşmesi gerekirken genelleştirilmiş atama probleminde bir ajana birden fazla iş atanabilmektedir.

GAP'ın yerleştirme problemleri, araç rotalama, grup teknolojisi, çizelgeleme gibi birçok uygulama alanı bulunmaktadır. (Tapkan, Özbakır ve Baykasoğlu, 2010). Literatürde darboğaz, çok aşamalı, elastik, dinamik, stokastik, çok kaynaklı ve çok amaçlı gibi farklı GAP türleri mevcuttur (Saraç ve Özçelik, 2017).

GAP, NP zor problemler sınıfına girdiği için, literatürde bu problem için kesin çözüm yöntemlerinin yanı sıra yaklaşık çözüm yöntemleri, tavlama benzetimi, yasaklı arama, genetik algoritma (GA), sinir ağları, arı kolonisi, açgözlü algoritmalar, parçacık sürü optimizasyonu, gibi sezgisel ve metasezgisel yöntemler de önerilmiştir.

GAP'ı konu alan çalışmalar incelendiğinde, Dörterler, Bay ve Akcayol (2017), adayların sınav salonlarının kapasitesi dikkate alınarak en yakınlarındaki sınav merkezine atanmaları problemini ele almışlardır. Problemin çözümü için bir GA önermişlerdir.

Bozdoğan, Yılmaz ve Efe (2010) çalışmalarında çok hedefli takip uygulamalarında karşılaşılan genelleştirilmiş atama problemine, sürü eniyileme algoritmalarının uygunluğunu incelemişlerdir ve 1-opt yerel aramayı kullanan parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının diğer modifikasyonlardan yakınsama hızı ve çözüm kalitesi açısından daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

İlkuçar ve Güngör (2018) çalışmalarında hem kurumların hekim ihtiyacını uzun vadede karşılayabilecekleri hem de atanacak hekimlerin olabildiğince istedikleri yerlere atamalarının yapılabileceği bir eniyileme problemini ele almışlardır ve ele aldıkları problemin çözümü için bir GA önermişlerdir.

Saraçoğlu ve Yücel (2019) çalışmalarında acil durumlarda en uygun güzergâhları belirleyecek şekilde çıkış kapılarının uygun konumlara atanması problemini üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında ana unsur olarak mesafe ve insan sayısını kullanmışlardır. Ele aldıkları problem için 0-1 karma tamsayılı bir matematiksel model önermişlerdir.

Tapkan ve diğ. (2010), genelleştirilmiş atama problemlerinde farklı komşuluk yapılarının arı algoritmasının performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Moussavi, Mahdjoub ve Grunder (2018), çalışmada üretim sisteminde iş gücü planlaması problemini ele almışlardır. Çalışmada, her iş istasyonunda ve sistemin tamamında işlem süresini en aza indirmek için işlere en

uygun operatörün atanması amaçlanmaktadır. Ele alınan problem, klasik GAP'tan iki yönü ile farklılaşmaktadır. Birinci fark, operatörlerin çalışma günlerine getirilen kısıtlamadır. İkinci fark ise, dönemsel kısıtlara sahip olmasıdır. Problem için karma tamsayılı bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Çetin, Tuzkaya ve Vayvay (2020) bankacılık sektöründe uygulamalı olarak bir dizi görevin farklı uzmanlığa sahip çalışanlara atanması problemini ele almışlardır. Atamalar çalışanların yetkinlikleri, uzmanlıkları ve ayrıca müşteri tipi, para miktarı, işlem türü gibi kriterler göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Problemin çözümü için iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. İlk aşamada sisteme gelen görevler belli kriterlere göre önceliklendirilmiştir. 2. aşamada görevler, yetenek ve deneyimlerine göre gruplandırılan çalışanlara atanmıştır.

Dörterler (2019), çalışmasında GAP için yeni bir GA önermiştir. Önerilen GA'da uygun çözümlerin ortaya çıkma olasılığını arttırmak için ajan tabanlı bir çaprazlama operatörü geliştirilmiştir.

Cergiboza ve Tasan (2020) çalışmalarında sipariş gruplama problemini ele almışlardır ve problemin çözümü için bir GA ve melez algoritma önermişlerdir. Geliştirilen çözüm yöntemleri bir dağıtım merkezinde uygulanmış ve sipariş gruplarının toplam rotaları %78 oranında azaltılmıştır. Ayrıca işgücü maliyetlerinde de azalma gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada GAP'ın bir versiyonu olan döküm kalıplarının döküm tezgâhlarına atanması problemi ele alınmıştır. Çalışmanın literatürdeki genelleştirilmiş atama problemlerinden en önemli farkı atanmış kalıpların ömrü olmasıdır. Bir kalıbın ömrü dolduğunda tezgâhtan sökülmeindedir. Ömrü tamamlanmamış kalıplar ise bir sonraki planlama periyoduna halihazırda atanmış oldukları tezgâhlara bağlı olarak aktarılmaktadır. Bu nedenle tezgâhların kullanılabilir kapasiteleri (tezgâhlara ilgili planlama döneminde bağlanabilecek kalıp sayısı) dinamik olarak değişmektedir.

Çalışmanın izleyen bölümünde ele alınan problem tanımlanmış ve önerilen matematiksel model sunulmuştur. Üçüncü bölümde geliştirilen genetik algoritma ayrıntıları ile açıklanmıştır. Dördüncü bölümde elde edilen deneysel sonuçlar, son bölümde ise sonuç ve öneriler tartışılmıştır.

2. Ele Alınan Problem ve Geliştirilen Matematiksel Model

Bu çalışmada siparişe dayalı üretim yapan bir firmadaki döküm kalıplarının döküm tezgâhlarına atanması problemi ele alınmıştır. Çalışmanın tüm aşamalarında araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Uygulamanın yapıldığı firmada basınçlı ve klasik olmak üzere iki tip

döküm yapılmaktadır. Bu çalışmada klasik döküm bölümünde yaşanan kalıp atama problemi ele alınmıştır. Klasik döküm bölümünde, döküm kalıplarının bağlanacağı tezgâhlar yer almaktadır. Bir tezgâha birden çok kalıp bağlanabilmektedir. Bir tezgâhta kalıpların bağlanabileceği konumlar belirlidir ve *konum (sıra)* olarak adlandırılmaktadır. Tezgâhların kapasiteleri (toplam konum sayısı / toplam bağlanabilecek kalıp sayısı) birbirinden farklıdır. Aynı ürünün üretilbildiği kalıplar aynı *tür* olarak adlandırılmaktadır. Bir tür kalıptan birden fazla olması mümkündür. Döküm işleminin yapısı gereği kalıp ömürleri sınırlıdır. Bu ömür genellikle 90 kullanımdır. Kalıplar gerekli durumlarda ömrü dolmadan da tezgâhtan sökülebilmektedir. Tezgâhtan bir kez sökülen kalıbın bir daha kullanımı mümkün olamamaktadır. Bu nedenle, kalıpların en erken sökülebileceği kullanım sayısı 70 döküm olarak sınırlandırılmıştır. Bir başka deyişle tezgâha bağlanan bir kalıbın en az 70, en fazla 90 döküm yapıldıktan sonra sökülmesi gerekmektedir. Bir vardiyada bazı kalıplara 1 bazılarına ise 2 döküm yapılmaktadır. Her planlama döneminde hâlihazırda tezgâhlara bağlı kalıplar mevcuttur ve bu kalıpların konumları ve kalan ömürleri bilinmektedir. Tezgâhların boş konumlarına hangi yeni kalıpların bağlanacağı ve ömrü dolan hangi kalıpların tezgâhlardan sökülmesi gerektiği belirlenmektedir.

Döküm sürecinin doğası gereği göz önünde bulundurulması gereken bazı kısıtlar vardır. Örneğin; bir tezgâha olabildiğince aynı tür kalıplar atanması istendiğinden her bir tezgâh için toplam kalıp türü 4 ile sınırlandırılmıştır, kalıplar ancak uygun tezgâhlara atanabilmektedir. Bir başka deyişle, her kalıp her tezgâha atanamamaktadır. Atamalar tezgâh kapasitelerini geçmeyecek şekilde ve aynı tür kalıplar mümkün olduğunca yan yana olacak şekilde yapılmalıdır. Tezgâha bağlanan kalıplar mümkün olduğunca 90 dökümden önce sökülmemelidir. Ele alınan problem literatürde, sadece atama ve kapasite kısıtları dikkate alındığında, genelleştirilmiş atama problemi olarak ifade edilmektedir. Ancak diğer kısıtlar ((6)-(12), (14)-(33)) döküm sürecine özeldir ve bu çalışma kapsamında geliştirilmiştir.

Problemin çözümü için çok amaçlı bir matematiksel model önerilmiştir. Ele alınan amaçlar; toplam atama sayısının enbüyüklenmesi, aynı tür kalıpların atandığı tezgâh sayısının enküçüklenmesi, aynı tezgâha atanan aynı tür kalıpların atandıkları konumların farklarının enküçüklenmesi (bu amaç aynı tezgâha atanan aynı tür kalıpların yan yana olmasını sağlamak içindir) ve tezgâhlardan sökülecek kalıp sayısının enküçüklenmesidir. Amaçların birleştirilmesinde ağırlıklı toplam yöntemi kullanılmıştır.

İndisler:

i, q: kalıp türü indisi

j: tezgâh indisi

s, r: konum (sıra) indisi

Parametreler:

t_{js} : *j.* tezgâhın *s.* konumunda hâlihazırda bağlı olan kalıp türü

u_{ij} : *i.* kalıp türü *j.* tezgâha atamaya uygunsa 1, aksi halde 0

δ_{ij} : *i.* tür kalıptan *j.* tezgâha hâlihazırda bağlı kalıp sayısı
 $\delta_{ij} = \sum_{s|t_{js}=i} 1$

l_{sj} : *j.* tezgâhın *s.* konumundaki kalıbın kullanılan ömrü

c_j : *j.* tezgâhın kapasitesi (konum sayısı)

p_j : *j.* tezgâhın haftalık döküm sayısı

g_i : *i.* kalıp türü için haftalık talep (döküm sayısı)

α_i : Hâlihazırda bağlı *i.* tür kalıpların toplam haftalık döküm adetleri (α_i) haftalık talepten az ise eksik miktar

$$a_i = \begin{cases} 0, & g_i - \alpha_i \leq 0 \\ g_i - \alpha_i, & g_i - \alpha_i \geq 0 \end{cases}$$

Burada $\alpha_i = \sum_j \sum_{s(l_{sj} < 90 \text{ ve } t_{js}=i)} t_{js} p_j \div i$ formülü ile hesaplanabilir.

e_i : Hâlihazırda bağlı *i.* tür kalıpların toplam haftalık döküm adetleri haftalık talepten fazla ise fazla miktar

$$e_i = \begin{cases} 0, & \alpha_i - g_i \leq 0 \\ \alpha_i - g_i, & \alpha_i - g_i \geq 0 \end{cases}$$

k_1, k_2, k_3, k_4 : birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü amaç fonksiyonlarının ağırlıkları ($k_1, k_2, k_3, k_4 \in \{0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1\}$ ve $k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = 1$ olacak şekilde 56 farklı ağırlık kombinasyonu oluşturulmuştur.)

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$: birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü amaç fonksiyonlarının aynı ölçüğe getirilmesinde kullanılacak katsayılar ($\theta_1 = \sum_j c_j - \sum_i \sum_j \delta_{ij}$, $\theta_2 = \sum_i \sum_j u_{ij}$, $\theta_3 = \sum_i \sum_j u_{ij} (\frac{c_j}{2} - \frac{g_i}{9})$, $\theta_4 = \sum_i \sum_j \delta_{ij}$)

Karar Değişkenleri:

v_{js} : *j.* tezgâhın *s.* konumundaki kalıbın kullanılan ömrü

π_i : *i.* kalıp türü için haftalık talepten sapma miktarı

h_{ij} : *j.* tezgâhtaki *i.* tür kalıbın atandığı ilk ve son konumlar arasındaki fark

φ_{ij} : *j.* tezgâhtaki toplam *i.* tür kalıp sayısı ile h_{ij} arasındaki fark

x_{ijs} : i . kalıp türünün j . tezgâhın s . konumuna atanması durumunda 1, aksi halde 0.

μ_{ijs} : i . kalıp türü j . tezgâhın s . konumunda bağlı ise 1, aksi halde 0. (halihazırda bağlı veya yeni atanmış tüm durumlar dahil)

w_{ijs} : i . kalıp türü j . tezgâhın s . konumundan sökülecek ise 1, aksi halde 0

y_{ij} : i . kalıp türü j . tezgâha atandıysa 1, aksi halde 0

Amaç fonksiyonları:

$$f_1 = enb \sum_i \sum_j \sum_{s|s \leq c_j} x_{ijs} \quad (1)$$

$$f_2 = enk \sum_i \sum_j y_{ij} \quad (2)$$

$$f_3 = enk \sum_i \sum_j \varphi_{ij} \quad (3)$$

$$f_4 = enk \sum_i \sum_j \sum_{s|s \leq c_j} w_{ijs} \quad (4)$$

Birleştirilmiş amaç fonksiyonu:

$$enk z = -k_1 \frac{f_1}{\theta_1} + k_2 \frac{f_2}{\theta_2} + k_3 \frac{f_3}{\theta_3} + k_4 \frac{f_4}{\theta_4} \quad (5)$$

Kısıtlar:

$$v_{js} \leq (l_{sj} + p_j)(1 - \sum_i w_{ijs}) + M \sum_i x_{ijs} \quad \forall j, s | l_{sj} > 0 \text{ ve } s \leq c_j \quad (6)$$

$$v_{js} \geq (l_{sj} + p_j)(1 - \sum_i w_{ijs}) - M \sum_i x_{ijs} \quad \forall j, s | l_{sj} > 0 \text{ ve } s \leq c_j \quad (7)$$

$$v_{js} \leq l_{sj} + M \sum_i x_{ijs} \quad \forall j, s | l_{sj} = 0 \text{ ve } s \leq c_j \quad (8)$$

$$v_{js} \geq l_{sj} - M \sum_i x_{ijs} \quad \forall j, s | l_{sj} = 0 \text{ ve } s \leq c_j \quad (9)$$

$$v_{js} \leq x_{ijs} p_j + M(1 - \sum_i x_{ijs}) \quad \forall i, j, s | s \leq c_j \quad (10)$$

$$v_{js} \geq x_{ijs} p_j - M(1 - \sum_i x_{ijs}) \quad \forall i, j, s | s \leq c_j \quad (11)$$

$$\sum_i y_{ij} \leq 4 \quad \forall j \quad (12)$$

$$\sum_i \sum_{s|s \leq c_j} \mu_{ijs} \leq c_j \quad \forall j \quad (13)$$

$$\pi_i \leq u_{ij} p_j \quad \forall i, j | u_{ij} \neq 0 \quad (14)$$

$$\sum_j \sum_{s|s \leq c_j} x_{ijs} p_j \leq a_i + \pi_i - 1 \quad \forall i \quad (15)$$

$$\sum_j \sum_{s|s \leq c_j \text{ ve } l_{sj} < 90} w_{ijs} p_j \leq e_i \quad \forall i \quad (16)$$

$$w_{ijs} \leq 1 \quad \forall i, j, s | s \leq c_j \text{ ve } i = t_{js} \text{ ve } l_{sj} > 70 \quad (17)$$

$$w_{ijs} = 0 \quad \forall i, j, s | s \leq c_j \text{ ve } i \neq t_{js} \text{ ve } l_{sj} > 70 \quad (18)$$

$$w_{ijs} = 0 \quad \forall i, j, s | s \leq c_j \text{ ve } l_{sj} \leq 70 \quad (19)$$

$$w_{ijs} = 1 \quad \forall i, j, s | s \leq c_j \text{ ve } i = t_{js} \text{ ve } l_{sj} \geq 90 \quad (20)$$

$$x_{ijs} \leq u_{ij} \quad \forall i, j, s \quad (21)$$

$$\sum_i x_{ijs} \leq \sum_i w_{ijs} \quad \forall j, s | s \leq c_j \text{ ve } 0 \neq t_{js} \quad (22)$$

$$\sum_i x_{ijs} + \sum_i w_{ijs} \leq 1 \quad \forall i, j, s | s \leq c_j, i = t_{js} \text{ ve } l_{sj} < 90 \quad (23)$$

$$\sum_i x_{ijs} + \sum_i w_{ijs} \geq 1 \quad \forall i, j, s | s \leq c_j \text{ ve } i = t_{js} \text{ ve } l_{sj} \geq 90 \quad (24)$$

$$\sum_i \mu_{ijs} = 1 \quad \forall i, j, s | s \leq c_j \text{ ve } i = t_{js} \text{ ve } l_{sj} < 70 \quad (25)$$

$$\sum_i \mu_{ijs} = x_{ijs} \quad \forall i, j, s | s \leq c_j \text{ ve } l_{sj} = 0 \text{ ve } l_{sj} \geq 90 \quad (26)$$

$$\sum_i \mu_{ijs} = 1 - w_{ijs} \quad \forall i, j, s, q | i \neq q, t_{js} = i, l_{sj} > 70, s \leq c_j \text{ ve } l_{sj} < 90 \quad (27)$$

$$\sum_q \mu_{qjs} = x_{qjs} \quad \forall i, j, s, q | i \neq q \text{ ve } t_{js} = i \text{ ve } l_{sj} > 70 \text{ ve } s \leq c_j \text{ ve } l_{sj} < 90 \quad (28)$$

$$\sum_i \mu_{ijs} \leq 1 \quad \forall j, s | s \leq c_j \quad (29)$$

$$y_{ij} \leq \sum_{s|s \leq c_j} \mu_{ijs} \quad \forall i, j \quad (30)$$

$$y_{ij} M \geq \sum_{s|s \leq c_j} \mu_{ijs} \quad \forall i, j \quad (31)$$

$$h_{ij} \geq s \mu_{ijs} - r \mu_{ijs} - c_j (2 - \mu_{ijs} - \mu_{ijs}) \quad \forall i, j, s, r | s \leq c_j \text{ ve } s \geq r \quad (32)$$

$$\varphi_{ij} = h_{ij} - (\sum_{s|s \leq c_j} \mu_{ijs} - y_{ij}) \quad \forall i, j \quad (33)$$

İlk amaç (1), toplam atama sayısının enbüyüklenmesidir. İkinci amaç (2), aynı tür kalıpların atandığı tezgâh sayısının enküçüklenmesidir. Üçüncü amaç (3), aynı tezgâha atanan aynı kalıp türlerinin atandıkları konumların farkının enküçüklenmesidir. Son amaç (4) ise tezgâhlardan sökülecek kalıp sayısının enküçüklenmesidir. Birleştirilmiş amaç fonksiyonu (5); f_1, f_2, f_3, f_4 amaçlarının klasik ağırlıklı toplam yöntemi ile birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Burada k_1, k_2, k_3, k_4 amaçların ağırlıkları ve $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$, amaç fonksiyonlarının aynı ölçeğe getirilmesinde kullanılan katsayılarıdır. (6)-(11), tezgâhların konumlarında bağlı kalıpların kullanılan ömrünü hesaplayan kısıtlardır. (6) ve (7), tezgâhlara halihazırda bağlı kalıplarının ömrünü hesaplayan kısıtlardır. Kalıp sökülmeyecekse, kalıbın mevcut kullanılan ömrüne o tezgâhta bir haftada yapılacak döküm sayısı eklenerek kalıbın ömrü hesaplanır. Mevcut kalıp sökülecek ise ömür bilgisi sıfırlanacaktır. (8) ve (9), her tezgâhın her konumu için eğer henüz atama yapılmamışsa tezgâhın o konumuna ait ömür bilgisinin değişmemesini sağlayan kısıtlardır. (10) ve (11), bir tezgâhın bir konumuna kalıp atanması durumunda kalıbın kullanılan ömrünün atandığı tezgâhın haftalık döküm sayısı kadar olmasını sağlamaktadır. (12), bir tezgâhta en fazla 4 çeşit kalıp

bulunabilmesine izin verir. (13), j . tezgâhın kapasite kısıtıdır. (14)-(15), her kalıp türü için haftalık talepten sapma miktarını belirleyen kısıtlardır. (16)-(24), hangi kalıpların söküleceğini belirleyen kısıtlardır. (25)-(29) tezgâhların konumlarında hangi kalıpların bağlı olduğunu belirleyen kısıtlardır. (30)-(31), μ_{ijs} ve y_{ij} karar değişkenlerinin ilişki kısıtlarıdır. (32)-(33), aynı tezgâhta bulunan aynı kalıp türleri arasındaki konum farklarını hesaplayan kısıtlardır.

Önerilen matematiksel modeli daha iyi açıklayabilmek için 2 tezgâh ve 3 kalıp türünün olduğu bir örnek problem oluşturulmuştur. 1. kalıp türü için 6, 2. kalıp türü için 3 ve 3. kalıp türü için ise 7 kalıba gereksinim vardır. Her iki tezgâhın da kapasitesi 10 konumdur. 1. Tezgâha 1. ve 2. tür kalıplar; 2. tezgâha da 2. ve 3. tür kalıplar atanabilmektedir. Örnek problem önerilen matematiksel model ve GAMS/CPLEX ile çözülmüş ve elde edilen çözüm Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1’de yeşil hücreler daha önceden atanmış kalıpların türlerini ve her birinin alt satırındaki hücreler ise bu kalıpların kullanılan ömürlerini göstermektedir. Şekil 1’den de görülebileceği gibi halihazırda 1. tezgâhta 4, 2. tezgâhta ise 5 adet kalıp bağlıdır. 1. tezgâha 1. kalıp türünden 4 adet; 2. tezgâha 3. kalıp türünden 5 tane yeni kalıp atanmıştır. 1. tür kalıptan gereken adet 6 idi. Şekil 1’den de görülebileceği gibi 1. tezgâhta hâlihazırda 1. tür kalıptan 4 adet bağlıdır. Ancak iki tanesinin ömrü dolmuştur. Ömrü dolan bu iki kalıp söküldüğünden ihtiyacı karşılamak için 1. tür kalıptan 4 adet yeni atama yapılmıştır.

Atama Öncesi Tezgah 1	1	1	1	1						
Kalıp Ömrü	65	65	90	90						
Atama Sonrası Tezgah 1	1	1	1	1	1	1				
Atama Öncesi Tezgah 2						3	3	2	2	2
Kalıp Ömrü						40	40	50	50	50
Atama Sonrası Tezgah 2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2
	Yeni atananlar									
	Eski atananlar									

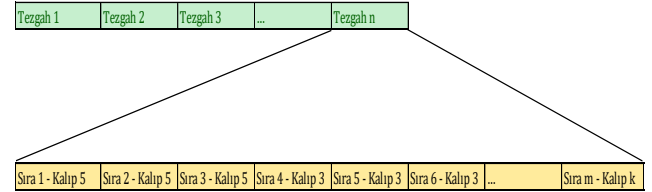
Şekil 1. Örnek Problemin Atama Öncesi ve Sonrası Gösterimi

3. Geliştirilen Genetik Algoritma

Önerilen matematiksel model ile çözülemeyen 75 tezgâh – 150 kalıp ve daha büyük boyutlu problemlere çözüm bulunabilmesi ve daha küçük boyutlu problemlerin de matematiksel modelden daha kısa süre içinde çözülebileceği için bir GA geliştirilmiştir. Geliştirilen GA’da kullanılan çözüm gösterimi, başlangıç popülasyonunun oluşturulması, uyum fonksiyonu hesabı, seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörleri izleyen alt başlıklarda açıklanmıştır.

Çözüm Gösterimi:

Kullanılan çözüm gösteriminde her tezgâh bir gene karşı gelmektedir. Her gen, tezgâh konumları (sıraları) ve bu konumlara atanan kalıp bilgilerini içermektedir. Şekil 2’de önerilen çözüm gösterimine bir örnek sunulmuştur. Şekil 2’den de görülebileceği gibi kromozom, tezgâh sayısı (n) kadar genden oluşmaktadır. Bir genin içinde ise ilgili tezgâhta kalıpların bağlanabileceği konumlar (sıralar) ve bu konumlara hangi kalıpların atandığı bilgisi yer almaktadır.



Şekil 2. Önerilen Çözüm Gösterimi

Başlangıç Popülasyonunun Türetilmesi:

Çalışmada başlangıç popülasyonu rassal oluşturulmuştur. Geliştirilen GA’da tezgâhlar genleri ifade etmektedir ve her bir gen, ilgili tezgâhın konumlarına hangi kalıp türlerinin atandığı bilgisini içermektedir. İlk popülasyon oluşturulurken bütün kalıp türlerinin yer aldığı bir kalıp türü listesinden rastgele bir kalıp türü seçilir. Bu kalıp türünden atanması gereken kalıp adedine bakılır eğer sıfır bu kalıp türü listeden silinir, eğer sıfır değilse uyumlu tezgâhlar listesinden rassal bir tezgâh seçilir. Seçilen tezgâhın kapasitesi yeterli ise atama yapılır. Ve bu kalıp türü listeden silinir. Yeterli değilse, uygun bir tezgâh bulunana kadar tezgâh seçim işlemi devam eder. Kalıp türü listesinde atanmamış bir kalıp türü kalmayana kadar işlemler devam ettirilir.

Uyum fonksiyonu:

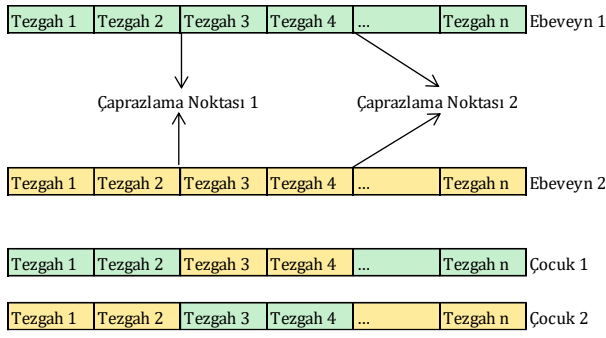
Her kromozom için uyum değeri, birleştirilmiş amaç fonksiyonu (5) kullanılarak hesaplanmaktadır.

Seçim Operatörü:

Bu çalışmada seçim operatörü olarak, ikili turnuva seçim yöntemi kullanılmıştır. İkili turnuva seçim yönteminde popülasyondan rassal olarak iki kromozom seçilmektedir ve uyum değeri daha büyük olan kromozom bir sonraki nesle aktarılmaktadır.

Çaprazlama Operatörü:

Bu çalışmada çift noktalı çaprazlama operatörü kullanılmıştır. Çaprazlama uygulanacak bireyler çaprazlama oranı kullanılarak rassal belirlenmektedir. Çaprazlama oranı 0,8 olarak alınmıştır. Şekil 3’te bu çalışmada kullanılan çaprazlama operatörünün nasıl çalıştığı bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

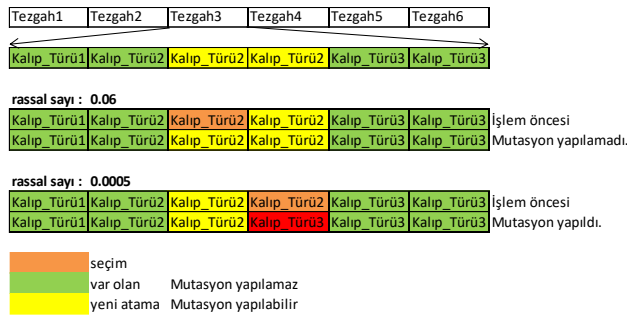


Şekil 3. Çift Noktalı Çaprazlama Örnek Gösterimi

Şekil 3'ten de görülebileceği gibi rassal olarak seçilmiş ebeveyn bireyler üzerinde rastgele iki nokta seçilir ve bu noktalar arasında kalan genler karşılıklı olarak yer değiştirilir.

Mutasyon Operatörü:

Bu çalışmada değer değiştirme mutasyon operatörü kullanılmıştır. Şekil 4'te çalışmada kullanılan mutasyon operatörü bir örnek üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. Mutasyon Örnek Gösterimi

Mutasyon oranı (0,01) kullanılarak rassal seçilen tezgâh konumu için o tezgâha atanabilecek uygun kalıp türleri listesinden rassal olarak bir tür seçilir ve atanmış kalıp türü ile değiştirilir. Bu işlem yalnızca yeni atanmış kalıplar üzerinde yapılır halihazırda bağlı olan kalıplara mutasyon uygulanmaz. Bu sayede önceden atanmış kalıpların ömrü sonlanmadan sökülmesi önlenmektedir.

Elitizm:

Oluşturulan her popülasyonun en kötü uyum değerine sahip kromozomu yerine bir önceki neslin en iyi uyum değerine sahip kromozomu aktararak, elde edilen başarılı kromozomların yok olması önlenmiştir.

Popülasyon büyüklüğü 100 ve nesil sayısı 200 olarak seçilmiştir.

4. Deneysel Sonuçlar

Önerilen çözüm yaklaşımlarının performanslarını gösterebilmek amacıyla farklı büyüklüklerde üç test problemi kullanılmıştır. İlk problem 2 tezgâh - 5 kalıp türü, ikinci problem 10 tezgâh - 17 kalıp türü ve üçüncü problem de 30 tezgâh - 50 kalıp türü içermektedir. Test problemleri, matematiksel model ile GAMS 24.0.2'in CPLEX 12.5.0.0 çözücüsü kullanılarak çözdürülmüştür. Geliştirilen genetik algoritma, Python programı kullanılarak kodlanmıştır. Tüm testler Intel (R) Core (TM) i7- 3630QM CPU@2.40 GHz işlemcisi, 8 GB belleği ve Windows 10 işletim sistemine sahip bir bilgisayarda yapılmıştır.

2 tezgâh-5 kalıp türü içeren ilk test probleminin üç aylık talep tahmin verileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Her Kalıp Türü için 3 Aylık Talep Tahmin Verileri

Kalıp	Ay 1	Ay 2	Ay 3
1	531	363	330
2	1065	930	885
3	570	510	360
4	930	1050	900
5	330	270	264

Bu bilgiler kullanılarak her kalıp için haftalık döküm miktarları hesaplanmıştır. Tablo 2'de kalıpların tezgâhlara uygunluk durumları verilmiştir. Kalıplar tezgâhlara uygunsa 1 değilse 0 olarak belirtilmiştir. Tablo 3'te ise tezgâhların özellikleri sunulmuştur.

Tablo 4 ve Tablo 5'te sırasıyla tezgâhlarda bulunan kalıpların türleri ve kullanılan ömürleri verilmiştir.

Tablo 2

Kalıp - Tezgâh Uygunlukları

Kalıp	T1	T2
1	1	0
2	1	1
3	0	1
4	0	1
5	1	0

Tablo 3

Tezgâh Özellikleri

Tezgâh	Kapasite	Haftalık Üretim Miktarı
T1	32	12
T2	50	6

Tablo 4

Tezgâhlarda Halihazırda Bağlı Kalıpların Türleri

<i>konum</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>konum</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>
1	1	3	26	5	0
2	1	3	27	5	0
3	1	3	28	5	0
4	1	3	29	5	0
5	1	3	30	5	0
6	1	3	31	0	2
7	1	3	32	0	2
8	1	3	33	-	2
9	1	3	34	-	2
10	1	3	35	-	2
11	1	3	36	-	2
12	1	3	37	-	2
13	1	0	38	-	2
14	1	0	39	-	2
15	1	0	40	-	2
16	0	0	41	-	2
17	0	0	42	-	2
18	0	0	43	-	2
19	0	0	44	-	2
20	0	0	45	-	2
21	0	0	46	-	2
22	0	0	47	-	2
23	5	0	48	-	2
24	5	0	49	-	2
25	5	0	50	-	2

Tablo 5

Tezgâhlarda Halihazırda Bağlı Kalıpların Kullanılan Ömürleri

<i>konum</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>konum</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>
1	60	30	26	72	0
2	60	30	27	72	0
3	60	30	28	72	0
4	60	30	29	72	0
5	60	30	30	72	0
6	60	30	31	0	30
7	60	30	32	0	30
8	60	30	33	-	30
9	60	30	34	-	30
10	60	30	35	-	30
11	60	72	36	-	30
12	60	72	37	-	30
13	60	0	38	-	30
14	60	0	39	-	30
15	60	0	40	-	30
16	0	0	41	-	30
17	0	0	42	-	30
18	0	0	43	-	30
19	0	0	44	-	30
20	0	0	45	-	30
21	0	0	46	-	30
22	0	0	47	-	30
23	90	0	48	-	30
24	90	0	49	-	30
25	90	0	50	-	30

2 tezgâh-5 kalıp türü problemi 56 farklı ağırlık seti kullanılarak hem GAMS/CPLEX hem de GA ile çözülmüştür. GAMS/CPLEX'in çözüm süresi 56 ağırlık seti için toplam 14 dk. iken GA'nın çözüm süresi 26 dk.'dır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde GA ile 5 farklı çözüm elde edilmiştir. Bu çözümlerden birisi diğerlerine baskındır. GAMS ile 9 farklı çözüm elde edilmiştir ve bu çözümlerden 3'ü diğer çözümlere baskındır. Tablo 6 ve Tablo 7'de sırasıyla GAMS ve GA ile elde edilen baskın noktalar verilmiştir.

Tablo 6

Örnek Problem için GAMS ile Elde Edilen Baskın Noktalar

f_1	f_2	f_3	f_4
0	29	5	5
0	27	3	5
0	0	3	4

Tablo 7

Örnek Problem için GA ile Elde Edilen Baskın Nokta

f_1	f_2	f_3	f_4
0	29	5	5

2 tezgâh - 5 kalıp türü problemi için her iki yöntemle de elde edilmiş olan (0, 29, 5, 5) baskın noktasına karşı gelen çözüm Tablo 8'de verilmiştir.

10 tezgâh- 17 kalıp türü problemi için GA ile 39 farklı nokta elde edilmiştir. Bu noktalardan 17 tanesi baskın noktadır. GAMS/CPLEX ile elde edilen 27 farklı nokta arasında ise sadece 9'u baskındır. Çözüm süreleri açısından bakıldığında, GAMS/CPLEX'in 56 ağırlık seti için toplam çözüm süresi 46 dk. iken GA 32 dk.'da çözüm elde etmiştir.

30 tezgâh- 50 kalıp türü problemi için GA ile elde edilen 39 noktadan 23 tanesi baskındır. Öte yandan GAMS/CPLEX ile 34 farklı nokta bulunmuştur. Baskın nokta sayısı ise 17'dir. GAMS/CPLEX'in 56 ağırlık seti için toplam çözüm süresi 64 dk. iken GA 35 dk.'da çözüm elde etmiştir.

Sonuçlardan da görülebileceği gibi problem boyutları büyüdükçe genetik algoritma ile elde edilen baskın çözüm sayısı matematiksel model ile elde edilenlerin önüne geçmektedir ayrıca GA çözüm süresi yönüyle de avantaj sağlamaktadır.

Tablo 8

Örnek Problemin Çözümü

<i>konum</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>konum</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>
1	1	3	26	5	4
2	1	3	27	5	4
3	1	3	28	5	4
4	1	3	29	5	4
5	1	3	30	5	4
6	1	3	31	0	2
7	1	3	32	0	2
8	1	3	33	-	2
9	1	3	34	-	2
10	1	3	35	-	2
11	1	4	36	-	2
12	1	4	37	-	2
13	1	4	38	-	2
14	1	4	39	-	2
15	1	4	40	-	2
16	1	4	41	-	2
17	1	4	42	-	2
18	0	4	43	-	2
19	5	4	44	-	2
20	5	4	45	-	2
21	5	4	46	-	2
22	5	4	47	-	2
23	5	4	48	-	2
24	5	4	49	-	2
25	5	4	50	-	2

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, döküm yapan bir firmanın döküm tezgâhlarına döküm kalıplarının atanması problemi ele alınmıştır. Ele alınan problem, kalıp ömürlerinin dikkate alınmış olması nedeniyle literatürde yer alan GAP konulu çalışmalardan oldukça farklılaşmaktadır. Aynı kalıpların mümkün olduğunca yan yana atanması, kalıpların mümkün olduğunca ömürlerinin sonuna kadar kullanılması gibi gereklilikler problemi zorlaştırmaktadır. Çalışmada döküm tezgâhlarına kalıpların atanması probleminin çözümüne yönelik önerilen çok amaçlı matematiksel model ve genetik algoritma literatürde bir ilk olma özelliği taşıması açısından önemlidir. Problem boyutları büyüdükçe matematiksel model ile elde edilen baskın çözümlerin sayısı genetik algoritma ile elde edilenlerin gerisinde kalmıştır. Gelecekte, ele alınan problem farklı metasezgisel algoritmalarla ve çok amaçlı çözüm yaklaşımları ile çözümlenerek elde edilen çözümler karşılaştırılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Esin İZCİ ve Nazife KARABULUT, literatür taraması, matematiksel modelin ve genetik algoritmanın geliştirilmesi, problemin çözülmesi ve makalenin yazılması; Tuğba SARAÇ, ise matematiksel modelin ve genetik algoritmanın geliştirilmesi ve makalenin yazılması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynakça

- Bozdoğan, A. Ö., Yılmaz, A. E., & Efe, M. (2010). Performance analysis of swarm optimization approaches for the generalized assignment problem in multi-target tracking applications. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 18(6), 1059-1076. doi: [10.3906/elk-0901-6](https://doi.org/10.3906/elk-0901-6)
- Cergibozan, Ç. & Tasan, A. S. (2020). Genetic algorithm based approaches to solve the order batching problem and a case study in a distribution center. *Journal of Intelligent Manufacturing*, doi: [10.1007/s10845-020-01653-3](https://doi.org/10.1007/s10845-020-01653-3)
- Çetin, K., Tuzkaya, G., & Vayvay, O. (2020). A mathematical model for personnel task assignment and an application for banking sector. *An International Journal Of Optimization and Control: Theories & Applications*, 10(2), 147-158. doi: [10.11121/ijocta.01.2020.00825](https://doi.org/10.11121/ijocta.01.2020.00825)
- Dörterler, M., Bay, Ö. F. & Akcayol, M. A. (2017). A modified genetic algorithm for a special case of the generalized assignment problem. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 25, 794-805. doi: [10.3906/elk-1504-250](https://doi.org/10.3906/elk-1504-250)
- Dörterler, M. (2019). A new genetic algorithm with agent-based crossover for the generalized assignment problem. *Journal of Information Technology and Control*, 48(3), 389-400. doi: [10.5755/j01.itc.48.3.21893](https://doi.org/10.5755/j01.itc.48.3.21893)
- İlkuçar, M. ve Güngör, İ. (2018). Hekim atama probleminin genetik algoritma ile optimizasyonu. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(24), 236-261. doi: [10.20875/makusobed.374774](https://doi.org/10.20875/makusobed.374774)
- Moussavi, S. E., Mahdjoub, & M., Grunder, O. (2018). A hybrid heuristic algorithm for the sequencing generalized assignment problem in an assembly line. *IFAC-PapersOnLine*, 51(2), 695-700. doi: [10.1016/j.ifacol.2018.03.118](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.03.118)
- Saraç, T. ve Özçelik, F. (2017). Farklı yeteneklere ve önceliklere sahip ajanların ve aynı ajana atanması gereken işlerin olduğu çok kaynaklı genelleştirilmiş atama problemi için bir hedef programlama modeli. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(1), 75-90. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/290260>

Saraçoğlu, İ. & Yücel, G. (2019). Generalized assignment problem to minimize emergency evacuation routing in Istanbul Grand Bazaar. *International Journal of Engineering Technologies-IJET*, 5(3), 105-116. Erişim adresi:

<http://acikerisim.gelisim.edu.tr/xmlui/handle/11363/2113#sthash.QwKlYT2W.dpbs>

Tapkan, P., Özbakır, L. ve Baykasoğlu, A. (2010). Arı algoritması ve genelleştirilmiş atama problemi: Farklı komşuluk yapılarının karşılaştırılması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 21(2), 2-13. Erişim adresi:

<https://mmo.org.tr/nisan-mayis-haziran/makale/ari-algoritmasi-ve-genellestirilmis-atama-problemifarkli-komsuluk>

JİPS ARTIĞINDAN TAGUCHİ YAKLAŞIMI KULLANILARAK ÇÖKTÜRÜLMÜŞ KALSİYUM KARBONAT (ÇKK) ÜRETİMİ

Soner TOP ^{1*}, Mahmut ALTINER ², Burçin KAYMAKOĞLU ³

¹ Abdullah Gül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü, Kayseri, ORCID No :

<http://orcid.org/https://orcid.org/0000-0003-3486-4184>

² Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, ORCID No :

<http://orcid.org/0000-0002-7428-5999>

³ Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Mühendisliği Bölümü, Adana, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-4885-6399>

Anahtar Kelimeler	Öz
Jips Çöktürülmüş kalsiyum karbonat Venturimetre Ultrasonik güç Mineral karbonatlaştırma.	<i>Bu çalışmada, desülfürizasyon ünitesinden elde edilen jips (DJ) taneciklerinin çöktürülmüş kalsiyum karbonat (ÇKK) taneciklerine doğrudan mineral karbonatlaştırma yöntemi ile dönüştürülmesi sırasında ultrasonik güç uygulama, sıcaklık, karbondioksit (CO₂) besleme hızı deneysel parametrelerinin etkileri Taguchi yaklaşımı kullanılarak araştırılmıştır. Deneylerde venturimetre ünitesi karbonatlaştırma zonu olarak kullanılmıştır. Elde edilen ürünlerin karakterizasyonu XRD, SEM ve tane boyutu analiz yöntemleri ile belirlenmiştir. Ayrıca ürünlerin özellikleri ASTM standartları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak; üretim şartlarına bağlı olarak iğnemi, kübik veya delikli yapıda kalsit kristallerinden oluşan ÇKK tanecikleri elde edilmiştir. ASTM standartlarına göre endüstriyel bir artıktan üretilen bu ürün, boya ve plastik sektörlerinde değerlendirilebilmesi için gereken özellikleri sağlamaktadır.</i>

PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE (PCC) PRODUCTION FROM GYPSUM WASTE USING TAGUCHI APPROACH

Keywords	Abstract
Gypsum Precipitated calcium carbonate Venturimeter Ultrasonic power Mineral carbonation.	<i>In this study, the effect of experimental parameters (ultrasonic treatment, temperature, CO₂ flow rate) on the conversion of desulphurization gypsum (DG) to precipitated calcium carbonate (PCC) particles by the direct mineral carbonation method was investigated using the Taguchi approach. A venturimeter was used as a carbonation zone in each experiment. The obtained products were characterized using XRD, SEM, and particle size analyses. Furthermore, the properties of each product were evaluated according to the ASTM standards. Finally, needle-like, cubic or hollow PCC containing calcite crystals were obtained depending on the production conditions. The PCC particles produced herein provides required properties to be used in the following industries; paint and plastic.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 25.05.2021	Submission Date : 25.05.2021
Kabul Tarihi : 12.11.2021	Accepted Date : 12.11.2021

* Sorumlu yazar; e-posta : sonficyus@gmail.com



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

Dünya'nın iklimi, endüstriyel tesislerden (özellikle kömüre dayalı çalışan termik santraller ve çimento fabrikaları) atmosfere salınan karbondioksit (CO₂) gibi gazlardan etkilenmektedir. İklim değişikliğine neden olan etmenlerin sürdürülebilir bir şekilde azaltılabilmesi için atmosfere salınan antropojenik kökenli CO₂ gazı miktarının ciddi oranda düşürülmesi gereklidir. Bu amaçla; CO₂ gazının tutulması, depolanması ve değerlendirilmesi ile ilgili birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yürütülmektedir (Başaran, 2007). Bu çalışmalarda CO₂ gazının çevreye verdiği zararların en aza indirilebilmesi için birçok alternatif yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler sırasıyla, jeolojik depolama, okyanusal depolama ve inorganik mineral karbonizasyon ile depolama işlemleridir.

Yukarıda bahsedilen üç yöntem birbiri ile kıyaslandığında, CO₂ gazının inorganik bir formda depolanması termodinamik açıdan daha kararlı olmasına neden olmakta ve uzun yıllar boyunca depolanabilmesine olanak sağlanmaktadır. Kalsiyum veya magnezyum içeriği bakımından zengin doğal minerallerin (olivin, serpantin, bazalt gibi) yanı sıra endüstriyel tesislerde elde edilen çelikhane cürufu, uçucu kül, kalsiyum karpit cürufu ve desülfürizasyon ünitesinden elde edilen sentetik jips gibi artıkların belirli mühendislik şartlar sağlandığında, bünyesinde CO₂'i depolayabilme potansiyelleri yüksektir. Ancak, doğal mineraller termodinamik açıdan oldukça kararlıdır ve bünyelerinde CO₂ gazının depolanabilmesi için yüksek basınç ve sıcaklık değerlerine ihtiyaç vardır (Huijgen, Witkamp ve Comans, 2006). Ayrıca, reaksiyon süresi oldukça uzun sürmekte olup, mineral karbonatlaştırma işleminin verimi oldukça düşüktür.

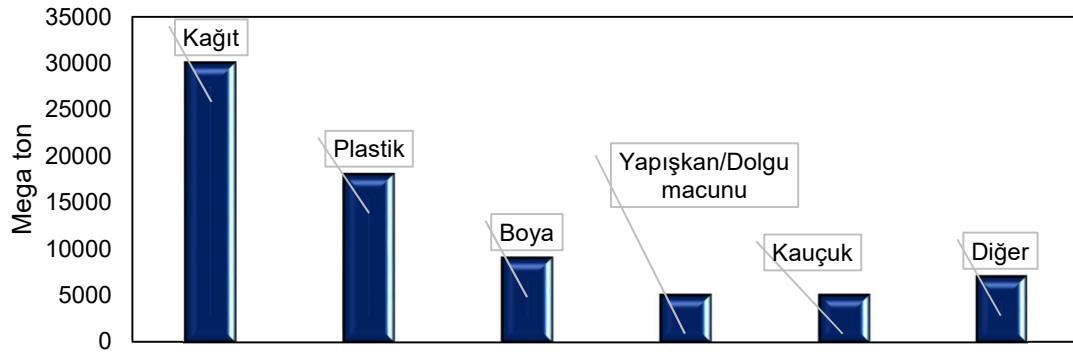
Bu çalışmada, termik santralde bulunan baca gazı arıtma (BGA) sisteminden elde edilen sentetik jips minerali kullanılmıştır. Hâlihazırda dünya genelinde üretilen jips artığının (28×10⁶ ton) yalnızca %15'lik bir kısmı başka bir endüstriyel alanda değerlendirilirken, geriye kalan miktar depolama alanlarında stoklanmaktadır. Safılık derecesinin yüksek olmasının yanı sıra içermiş olduğu yüksek CaO (~%30) miktarı nedeniyle sentetik jips, CO₂'in depolanması için önemli bir hammadde kaynağı olabilecek özelliktedir. Ayrıca; çok ince tane boyut dağılımına sahip olması CO₂ depolama işlemi öncesinde herhangi bir cevher hazırlama (kırma, öğütme, sınıflandırma gibi) işlemine gereksinim duyulmamasını sağlamaktadır. Bu durum, CO₂ depolama maliyetlerini düşürmektedir (Lee, Ryu, Chae ve Jang, 2015; Mattila ve Zevenhoven, 2015). Teorik olarak, 1 ton sentetik jips ile 0,26 ton CO₂ gazı inorganik çöktürülmüş kalsiyum karbonat (ÇKK) formunda depolanabilmektedir (Song ve diğ., 2016).

ÇKK, üretim şartlarına bağlı olarak farklı tane boyut dağılımlarında ve morfolojik özelliklerde olabilmektedir. ÇKK, dört farklı polimorf (kalsit, aragonite, vaterit ve amorf kalsiyum karbonat) şeklinde üretilmektedir. Atmosferik şartlarda en kararlı olanı kalsit minerali iken, amorf kalsiyum karbonat zamanla diğer polimorflara dönüşebilmektedir (Radha, Forbes, Killian, Gilbert ve Navrotsky, 2010). Bu özelliklerine bağlı olarak ÇKK tanecikleri reolojik ve beyazlık özelliği nedeniyle; oldukça pahalı ve boya endüstrisinde dolgu maddesi olarak değerlendirilen TiO₂ taneciklerinin yerine beyaz pigment olarak son yıllarda tercih edilmektedir (Karakaş ve Çelik, 2012). Ayrıca, ışığı daha iyi yansıtma özelliği olması nedeniyle ÇKK tanecikleri kağıt endüstrisinde kaolen ve talk minerallerine alternatif olarak değerlendirilmektedir (Boyjoo, Pareek ve Liu, 2014).

Kağıt üretiminde dolgu maddesi olarak ÇKK kullanım sayesinde elde edilen ürünün opaklığı, suya karşı dayanımı ve beyazlık değerleri artmaktadır. Rombohedral veya kübik kristallerden oluşan ÇKK taneciklerinin ışığı daha iyi yansıttığı, iğne uçlu aragonit kristallerinden oluşan ÇKK taneciklerinin ise polyvinyl klorür (PVC) üretiminde daha iyi dolgu malzemesi performansı gösterdiği bilinmektedir (Matsumoto ve diğ., 2010). Özgül ağırlığı nedeniyle biyomedikal sektöründe de aragonit kristallerinden oluşan ÇKK tanecikleri tercih edilmektedir (Wang, Sonni ve Matijevic, 1999). Vaterit kristallerinden oluşan ÇKK tanecikleri de mürekkep püskürtmeli kağıt üretiminde tercih edilmektedir (Mori, Isogai ve Enomae, 2011).

ÇKK taneciklerinin yukarıda bahsedilen özelliklerinin yanı sıra, endüstride kullanılabilmesi için istenilen tane boyut dağılımına sahip olması gerekmektedir. Örneğin; boya sektöründe oldukça pahalı olan TiO₂ yerine (veya birlikte) dolgu malzemesi olarak kullanılabilen ÇKK taneciklerinin tane boyut dağılımı açısından homojen bir yapıya sahip olması istenmektedir. Örneğin; boyada düz mat bir görünüm isteniyorsa kullanılan CaCO₃'ün tane boyutunun 15 µm'e kadar olması, pürüzlü bir görüntü isteniyorsa >15 µm tane boyut dağılımına sahip olması gereklidir (Jimoh, Ariffin, Hussin ve Temitope, 2018; Toraman ve İnal, 2014).

Bu alanlara ek olarak, ÇKK'nın, dünya çapında bulunabilirliği, insan vücuduna karşı biyo-uyumlu olması ve toksik özelliği bulunmaması nedeni ile bilim insanları ve araştırmacılar tarafından, ilaç taşıyıcısı olarak kullanılabilirliği araştırılmaktadır (Roth, Schoelkopf, Huwyler ve Puchkov, 2018; Wu, Wang, Zhuo ve Cheng, 2014). Hedeflenen kullanım alanına göre, istenilen tane boyutu, morfoloji ve polimorf özelliğine sahip ÇKK üretilmektedir. Ayrıca; elde edilecek ürün herhangi bir endüstriyel alanda değerlendirilmeyecek bile olsa; uzun yıllar boyunca çevreye herhangi bir zarar



Şekil 1. 2011 Yılı Dünya GCC Ve ÇKK Üretimi (Roskil, 2012)

vermeden kararlı bir şekilde kalacaktır (Lackner, 2002). ÇKK üretimi sonrasında geriye kalan çözelti, içerdiği iyonlara bağlı olarak (Na^+ , K^+ veya NH_4^+) kimya sektöründe veya tarımsal alanda gübre olarak değerlendirilebilmektedir (Leip ve diğ., 2011). Şekil 1'de 2011 yılına ait farklı sektörlerde kullanılmak üzere üretilen küresel ÇKK ve öğütülmüş kalsiyum karbonat (GCC) üretim miktarları görülmektedir. 2011 yılında toplam 74 mega ton olan üretimin 60 mega tonu GCC ve 14 mega tonu ise ÇKK üretimi olarak gerçekleşmiştir. 2001 yılında 3000 ton olan Türkiye GCC ihracatı ise zaman içerisinde sürekli bir artış göstererek 2010 yılında 109000 ton olarak gerçekleşmiştir (Ercan, Koltka ve Sabah, 2010).

Literatür incelendiğinde; ÇKK üretimi için farklı tipte reaktörlerin tasarlandığı yüksek basınçlı jet karıştırıcı (Casanova ve Higiut, 2011), karıştırmalı akış reaktörü (Blue ve diğ., 2017), tüp reaktör (Konopacka-Łyskawa, Cisiak ve Kawalec-Pietrenko, 2009) ve jet akışlı reaktör (Ulkeriyıldız, Kilic ve Özdemir, 2017) görülmektedir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçların ortak çıkarımları reaktör tipinin yüksek kalitede ÇKK üretimi için oldukça önemli bir parametre olduğu ve uygun reaktör tipleri ile oldukça yüksek verimde ve istenilen özellikte ÇKK'ların üretilbildiğidir.

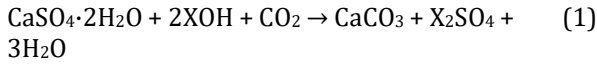
Bu çalışmada uygulanan yöntemde; önceki çalışmalarda kullanılan karbonatlaştırma reaktörlerinden farklı olarak; stabilizasyon tankı olarak adlandırılan belirli bir hacimdeki reaktörden pompa yardımıyla alınan çözelti, ÇKK oluşumunun türbülanslı bir akışta oluşmasını sağlayacak farklı venturimetreye gönderilmiştir. Venturimetre kullanılarak CO_2 gazı ile temas süresi istenilen şekilde ayarlanan çözeltinin daha sonra stabilizasyon tankına geri dönüşü sağlanmıştır. Venturimetrenin geometrik yapısı nedeniyle daralan kısımlarda türbülanslı akış ($\text{Re} > 2300$) oluşmaktadır (Peng ve Yu, 2015). Türbülans akış değerinin en yüksek olduğu noktada CO_2 gazı akışının da etkisi ile oldukça ufak kabarcıklar oluşturulmaktadır. Bu durum, sistemde CO_2 gazının daha uzun süre kalmasını sağlamaktadır. Böylelikle çözeltideki kalsiyum iyonları ile oluşan gaz kabarcıklarının etkileşimlerinin daha uzun sürmesi ve

daha yüksek verimde reaksiyona girmesi sonucunda daha kısa süre ve yüksek verimde ÇKK elde edilmektedir. Venturimetre sayesinde oluşan ÇKK tanecikleri üzerinde yeni bir ÇKK taneciğinin oluşması tam olarak önlenemese de aglomera olmuş halde bulunan ÇKK kristal kümeleri oldukça azalmaktadır.

Bu çalışma, yazarlar tarafından daha önce gerçekleştirilen çalışmaların devamı niteliğindedir (Altiner, Top ve Kaymakoglu, 2021; Altiner, Top, Kaymakoglu, Seçkin ve Vapur, 2019). Bahsi geçen çalışmalardan farklı olarak, reaksiyon sıcaklığı, ultrasonik güç, CO_2 hızı ve ultrasonik uygulama süresi gibi parametrelerin jips artığının (DJ) ÇKK'a dönüşümüne olan etkileri çözelti içinde iki farklı iyon varlığında (Na^+ ve NH_4^+) Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak araştırılmıştır. Ultrasonik güç, CO_2 gazı reaktöre verilmeden önce uygulanmıştır. Üretilen ÇKK'ların özellikleri tane boyut analizi, Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM), X-ışını difraksiyon (XRD), X-ışını floresans (XRF) ve özgül yüzey alanı (BET metodu) yöntemleri ile belirlenmiştir. Ayrıca, üretilen ÇKK taneciklerinin endüstriyel alanda kullanılabilirliği ASTM standartları dikkate alınarak incelenmiştir.

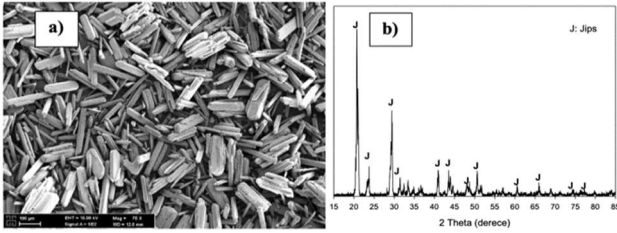
2. Yöntem

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Bu çalışmada kullanılan desülfürizasyon ünitesinden elde edilen jips (DJ) tanecikleri özel bir termik santralden temin edilmiştir. Numunenin kimyasal içeriği; %46,51 SO_3 , %32,50 CaO , %19,70 H_2O , ve %1,29 diğer safsızlıklardır (Al_2O_3 , MnO ve Fe_2O_3). Şekil 2a'da verilen SEM fotoğrafından da görüldüğü gibi, DJ tanecikleri çubuksu bir yapıya sahiptir. XRD analizi malzemenin jips olduğunu göstermektedir (Şekil 2b). Denklem 1'de görüldüğü gibi, DJ taneciklerinin ÇKK'a dönüşümü için gerekli olan OH^- iyonları iki farklı kimyasal (NaOH ve NH_4OH) ile sağlanmıştır. Bu kimyasallar, analitik saflıktadır ve herhangi bir işlem uygulamadan olduğu gibi kullanılmıştır. Deneylerde saf su kullanılmıştır (iletkenlik değeri: 0,052 mS/cm).



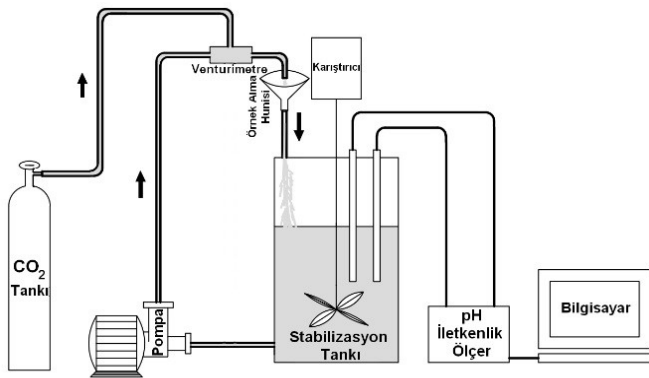
Burada X; kullanılan alkaliye göre Na⁺ veya NH₄⁺ olabilmektedir.

DJ taneciklerinin ÇKK'a dönüşümünde kullanılan deneysel düzenek Şekil 3'de görülmektedir. Şekil 3'de görüldüğü üzere; DJ taneciklerinin kademeli olarak ÇKK'a dönüşmesinin gerçekleşmesi için venturimetre kullanılmış ve karbonatlaştırma zonu ile dinlendirme zonu olarak iki farklı bölge oluşturulmuştur.



Şekil 2. DJ Taneciklerinin (a) SEM Görüntüsü, (b) XRD Paterni

Deneysel düzenek birçok parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar; DJ dönüşüm tankı, teflon kaplı mekanik karıştırıcı, çözeltinin sirkülasyonu için pompa, venturimetre, CO₂ tüpü, CO₂ debimetresi, pH metre ve veri kaydedicidir. Çözelti dinlendirme tankından karbonatlaştırma bölgesine pompa yardımı ile gönderilmekte ve kalsiyum iyonları ile CO₂ gazı reaksiyona girerek bu bölgede ÇKK oluşması sağlanmaktadır. Venturimetreye beslenen çözeltinin hızı artmakta ve venturimetrenin geometrik şekli nedeniyle türbülanslı bir akış gerçekleşmektedir. Çözeltinin CO₂ gazı ile ilk kez bulunduğu noktadaki akış hızı 1167,63 m/s ve Reynolds sayısı ise 18,58×10⁶'dır. Değerlerden de anlaşılacağı gibi ÇKK üretimi noktasında türbülanslı bir akış söz konusudur.



Şekil 3. Çalışmada Kullanılan Deneysel Düzenek

CO₂ besleme hızı, reaksiyon sıcaklığı, ultrasonik güç ve ultrasonik güç uygulama süresi gibi parametrelerin ÇKK üretimine olan etkisi Taguchi yaklaşımından yararlanılarak araştırılmıştır. Dört (4) farklı parametre üç (3) farklı seviyede Na⁺ ve NH₄⁺ iyonları varlığında ayrı ayrı araştırılmıştır (Taguchi L9 (3⁴)). Yöntemin verdiği deney sayısı ve deneylerde uygulanacak parametreler Tablo 1'de görülmektedir. Ultrasonik güç uygulaması (Bandelin HD2070.2, TT13) CO₂ gazı sisteme verilmeden önce gerçekleştirilmiştir. Çözelti karıştırma hızı 250 dev/dk, katı:sıvı oranı 1:20, OH⁻/Ca²⁺ mol oranı 2:1 olacak şekilde her bir deneyde sabit tutulmuştur.

Deneyler sırasında çözeltinin pH değeri anlık olarak kaydedilmiştir. Çözeltinin pH değeri hedeflenen seviyeye indiğinde (7,50) CO₂ gaz akışı durdurulmuş ve deney sonlandırılmıştır. Katı/sıvı ayrımı yapılarak elde edilen çökelti önceden 105 °C sıcaklığa ayarlanan etüvde kurularak karakterizasyon testlerine hazır hale getirilmiştir.

Tablo 1.

Taguchi Yöntemi Uyarınca Deney Dizaynı

Deney NO (Na ⁺ /NH ₄ ⁺)	CO ₂ hızı (lt/dk)	Sıcaklık (°C)	Ultrasonik Güç (%)	Ultrasonik Süre (dk)
DT-1 / DT-10	1	20	20	2
DT-2 / DT-11	1	40	60	3
DT-3 / DT-12	1	60	100	4
DT-4 / DT-13	3	20	60	4
DT-5 / DT-14	3	40	100	2
DT-6 / DT-15	3	60	20	3
DT-7 / DT-16	5	20	100	3
DT-8 / DT-17	5	40	20	4
DT-9 / DT-18	5	60	60	2

Deneyler sonunda elde edilen veriler kullanılarak tek yönlü varyans analizi de yapılmış (ANOVA), parametrelerin etkinlikleri hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Uygulanan modelin geçerliliği belirlenmiştir.

2.1. Karakterizasyon Testleri

Her bir aşamada üretilen ÇKK taneciklerinin faz özellikleri, Rigaku Miniflex II ve Bruker D8 Discover marka XRD cihazları ile belirlenmiştir. Tarama aralığı 15°-85° aralığında, tarama adımı 0,02 olarak belirlenmiştir. Elde edilen faz grafiklerinin mineral tanımlaması PDF-2 veritabanına sahip (PDF 2010) PDXL, Highscore Plus ve Diffrac.Suite EVA yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Rietveld analizleri Diffrac.Suite TOPAS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

ÇKK taneciklerinin yüzey özellikleri, Gemini SEM 300, Zeiss marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak saptanmıştır. En uygun şartlarda üretilen ÇKK

taneciğinin içermiş olduğu majör elementler, X-ışını floresans (XRF, MiniPal) cihazı ile belirlenirken, safsızlık olarak değerlendirilen elementler (MnO, Fe₂O₃ ve Al₂O₃) Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre (AAS, Perkin Elmer 900 H) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Numunenin BET özgül yüzey alanı değeri, Costech Sorptometer 1042 cihazı ile belirlenmiştir. Tane boyut dağılımları ise, Malvern Mastersizer 300 U cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen tane boyut dağılımı grafiklerinden yararlanılarak her bir ÇKK ürünü için SPAN faktörü (Denklem 2) belirlenmiştir.

$$SPAN = \left(\frac{d_{90} - d_{10}}{d_{50}} \right) \quad (2)$$

Bu değer elde edilen tane boyut aralığı hakkında fikir vermektedir. Yüksek SPAN faktörü değeri, elde edilen ürünün homojen bir tane boyut dağılımına sahip

olmadığını işaret ederken, düşük SPAN faktörü değeri ürünün dar tane aralığına sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, üretilen tane boyut dağılımı değerleri kullanılarak her bir ÇKK taneciğinin spesifik yüzey çap (SSD) değeri Denklem 3'e göre belirlenmiştir (ASTM D1366 – 86, 2020).

$$SSD = \frac{\sum d^3 f}{\sum d^2 f} \quad (3)$$

Burada; SSD; spesifik yüzey çap değeri (µm), d³f; her bir tane aralığındaki yüzde ağırlık değeri (%), d²f; her bir tane aralığındaki normal dağılım oranı değeridir (%/(µm)).

Bu değer; ÇKK taneciklerinin boya endüstrisine kullanım şeklini belirleyen özelliklerden biridir (Tablo 2).

Tablo 2.

ÇKK Taneciklerinin Tane Boyut Özelliğine Göre Pigment Olarak Boya Endüstrisinde Kullanımı (ASTM D1199-86, 2020)

Genel Özellik	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4	Sınıf 5	Sınıf 6
	(ince boya sınıfı)	(iri boya sınıfı)	(dolgu malzemesi)	(parlatma tozu sınıfı)	(çok ince sınıf)	(aşırı ince sınıf)
	Tane boyutu <20 µm	Tane boyutu 5- 45 µm	Tane boyutu 10 - 45 µm	-	Tane boyutu <5 µm	Tane boyutu < 2 µm
+45 µm malzeme miktarı	%0,05	%0,5	<%25	-	-	-
+75 µm malzeme miktarı	-	-	-	<%30	-	-
SSD	2,5 µm	6 µm	9 µm	12 µm	1 µm	-

3. Bulgular

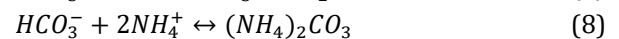
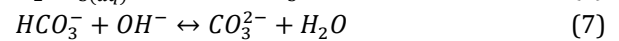
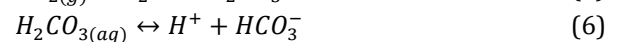
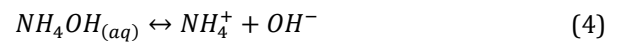
DJ taneciklerinin ÇKK'a dönüşüm mekanizması oldukça karmaşık bir sistem olup, DJ'in karbonatlaştırılması işlemi aynı anda katı, sıvı ve gaz fazlarının birlikte olduğu ve bunun sonucunda da kimyasal reaksiyonun gerçekleşerek DJ'in, ÇKK'a dönüşüm sağlandığı bir dizi reaksiyonların sonucudur. Şekil 4, çözelti içinde NH₄⁺ iyonu varlığında DJ'in ÇKK'a dönüşümünü gösteren reaksiyonları temsil etmektedir. NH₄⁺ iyonu yerine Na⁺ iyonu varlığında da ÇKK üretiminde aynı reaksiyonlar oluşmaktadır. Mineral karbonatlaştırma işlemi sırasında gerçekleşen reaksiyonlar sırasıyla;

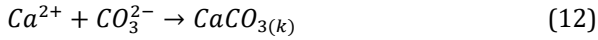
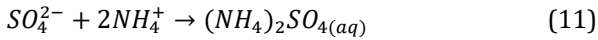
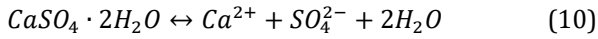
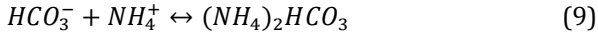
(1) Reaktöre beslenen CO₂ gazının çözelti içinde absorpsiyonu,

(2) Kullanılan kimyasala bağlı olarak sodyum (bi)karbonat, potasyum (bi)karbonat veya amonyum (bi)karbonatın oluşumu,

3) Elde edilen (bi)karbonat ile DJ taneciklerinin reaksiyonu ve (4) ÇKK taneciklerinin çökmesidir.

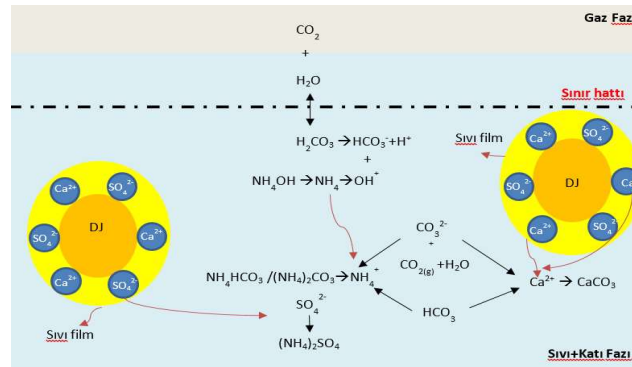
Yukarıda bahsedilen ana başlıkların gerçekleşmesi sırasında oluşan kimyasal reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:



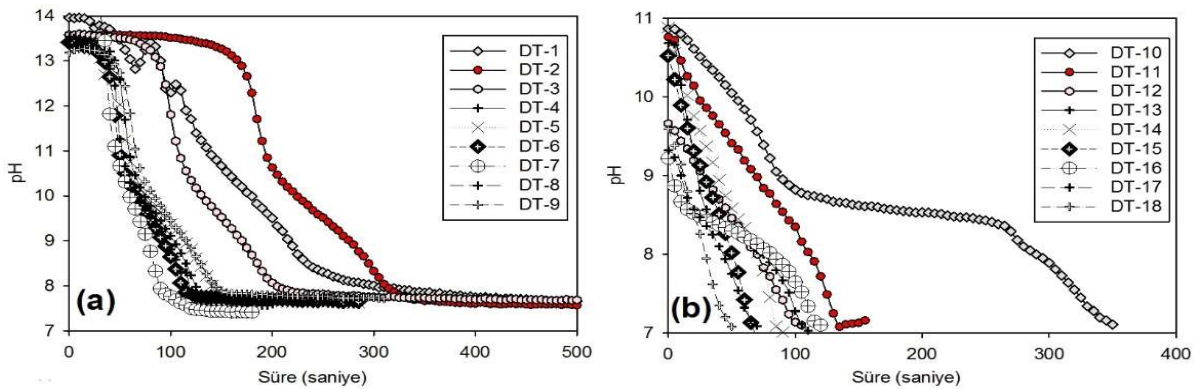


Karbonatlaştırma reaksiyonu sırasında, CO₂ besleme hızına bağlı olarak çözeltideki OH⁻ iyonları ile daha fazla reaksiyona girmekte ve daha fazla CO₃²⁻ iyonları oluşmaktadır. Oluşan bu iyonlar, çözeltide DJ'nin

çözünmesi ile açığa çıkan Ca²⁺ iyonları ile reaksiyona girerek CaCO₃ (ÇKK) oluşumunu sağlamaktadır. Sonuç olarak; çözelti içindeki OH⁻ iyonlarının varlığının azalması ile birlikte çözeltinin pH değeri düşmektedir. Bu nedenle, reaksiyonun sonlandırılması için çözeltinin pH değeri anlık olarak kontrol edilmiştir. DJ taneciklerinden ÇKK üretimi gerçekleştirilirken çözeltideki anlık pH değeri değişimi Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 4. DJ'in ÇKK'a Dönüşümü Sırasında Gerçekleşen Reaksiyonlar (Wang, Pan, Cheng, Chen ve Cheng, 2018)



Şekil 5. Çözeltinin pH Değişimi (a) Na⁺ İyonu Varlığında (b) NH₄⁺ İyonu Varlığında

Na⁺ iyonu varlığında deneylerin daha uzun sürmesi; çözeltinin başlangıç pH değeri ile ilgilidir. NH₄⁺ iyonu varlığında çözeltinin pH değeri maksimum 11 seviyelerine çıkarırken, Na⁺ iyonu ile bu değer oldukça yüksektir. Bu nedenle, NH₄⁺ iyonu varlığında çözeltinin pH değeri daha kısa sürede 7,5 civarına düşmektedir. Görüldüğü gibi; CO₂ besleme hızı 5 lt/dk, sıcaklık 20 °C, ultrasonik güç seviyesi %100 ve ultrasonik güç uygulama süresi 3 dk olduğunda (deney kodu; DT-7) en kısa sürede ÇKK üretimi sağlanmaktadır. En uzun süreler ise; deney kodu DT-1 ve DT-2 olan deneylerde üretilen ÇKK'lara aittir.

3.1. Na⁺ İyonu Varlığında ÇKK Üretimi

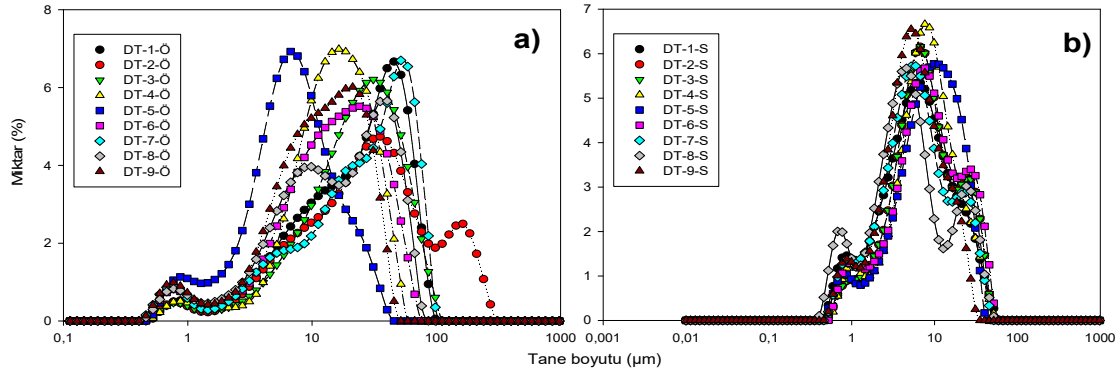
Na⁺ iyonu varlığında üretilen ÇKK kristallerine ait tane boyut dağılım grafikleri Şekil 6'da görülmektedir. Sisteme CO₂ gazı verilmeden önce ultrasonik güç uygulanması neticesinde tanecikler bimodal (iki tepeli) dağılım göstermeye başlamıştır. Bu durum, çözeltinin içinde bulunan alkali kaynağı nedeniyle Ca(OH)₂'e dönüşen taneciklerin kaviteasyon etkisi ile kırılmaya başlaması ile açıklanabilmektedir (deney kodu DT-1-Ö'den DT-9-Ö'e kadar olan eğriler). Sisteme CO₂ gazı verilmesi ile birlikte ÇKK kristalleri oluşmaya başlamış, ortama verilen CO₂ gazının hızı ve ortam sıcaklığının etkisi ile de ÇKK kristalleri oluşmuştur. Genel anlamda üretilen tüm ÇKK taneciklerinin unimodal (tek tepeli)

boyut dağılımına sahip olduğu düşünülse de ufak tepeliklerin oluştuğu ($>10 \mu\text{m}$) tespit edilmiştir. Bu durum, ÇKK taneciklerinin SPAN değerlerinin artmasına neden olmaktadır (Tablo 3).

Na^+ iyonu varlığında üretilen ÇKK taneciklerinin SSD değeri ise 2,60 ile 4,36 μm arasında değişmektedir. Tablo 2'de verilen değerlendirme kriterine göre,

üretilen ÇKK tanecikleri Sınıf – 1 (ince boya) ve Sınıf – 2 (iri boya) kriterlerini karşılamaktadır.

Na^+ iyonu varlığında gerçekleştirilen her bir deneyde elde edilen ÇKK taneciklerinin XRD paternleri, taneciklerin kalsit kristallerinden oluştuğunu göstermektedir (Şekil 7).



Şekil 6. Na^+ İyonu Varlığında CO_2 Gazı Beslemeden Önce (a) Ve Sonra (b) Tane Boyut Dağılımı Değerleri

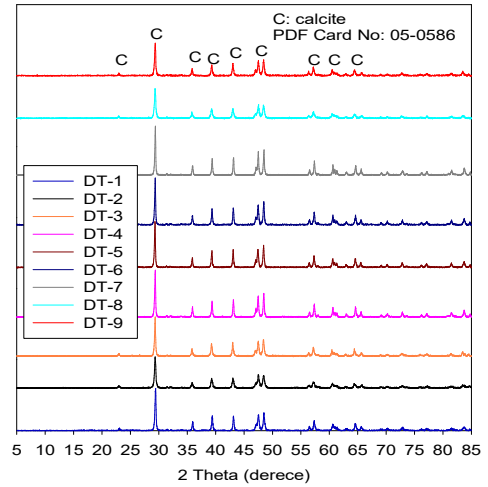
Tablo 3.

Na^+ Varlığında ÇKK Üretimi Öncesi ve Sonrasında Elde Edilen Ürünlerin Tane Boyut Özellikleri

Deney Kodu	Alkali kaynağı: NaOH					
	Önce			Sonra		
	d_{50} (μm)	SPAN	SDD (μm)	d_{50} (μm)	SPAN	SDD (μm)
DT-1	26,00	2,24	8,47	6,60	3,36	3,32
DT-2	30,30	4,68	9,41	7,74	3,31	4,30
DT-3	24,90	2,20	10,74	7,25	2,60	3,82
DT-4	16,10	1,88	7,83	9,40	2,34	4,36
DT-5	7,29	2,51	3,95	7,50	3,40	3,72
DT-6	16,40	2,41	6,21	6,24	3,68	3,40
DT-7	28,10	2,36	6,79	5,02	4,99	2,60
DT-8	17,20	2,78	6,01	5,77	2,63	3,30
DT-9	12,70	2,18	5,17	5,76	5,30	3,08

Şekil 8'de görülen SEM görüntüleri ise; üretim şartlarının ÇKK kristallerinin polimorfik yapısına etki etmese de morfolojik özelliklerine doğrudan etki ettiğini açık bir şekilde göstermektedir.

DT-1 koduna sahip üretim şartlarında elde edilen ÇKK kristalleri oldukça belirgin ve köşegenli kübik kristallerden oluşmaktadır. Buna bağlı olarak; 40°C sıcaklıkta gerçekleştirilen üretimde ise (DT-2) iğnemsî yapıda (skanohedral) kalsit kristalleri oluşmaya başlamıştır.



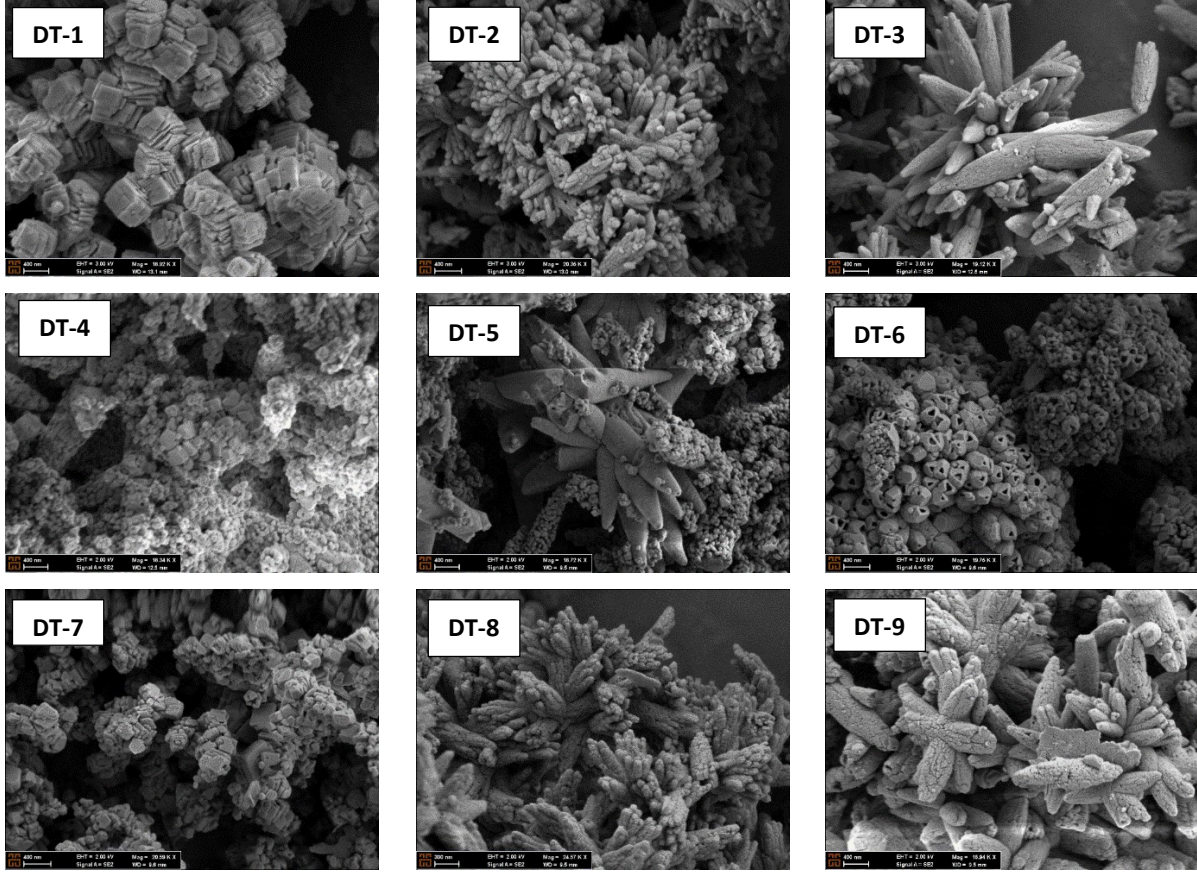
Şekil 7. Na^+ İyonu Varlığında Üretilen ÇKK Kristallerine Ait XRD Paternleri

DT-3 kodunda üretilen ÇKK kristalleri de aynı şekilde iğnemsî yapılıdır. Deney öncesinde uygulanan ultrasonik güç uygulamasının %20'den %60'a çıkartılması, (DT-4) üretilen ÇKK taneciklerinin daha ufak kristallere sahip ($<100 \text{ nm}$) ve kümelenmiş şekilde kristallerin bir arada bulunmasına sebep olmuştur.

DT-5 şartlarında üretilen ÇKK kristalleri de skanohedral yapılı ve ortalama 400 nm kristal boyutuna sahiptir. Delikli bir yapıya sahip ÇKK kristalleri de DT-6 deney şartlarında üretilmiştir. Oda sıcaklığında yapılan deneylerde genel anlamda kalsit kristalleri için karakteristik özellik olan kübik yapılı kristaller

üretimiştir (DT-7). Sıcaklığın artması; DT-8 ve DT-9 deney şartlarında da iğnemi yapıda ÇKK kristallerinin elde edilmesine neden olmuştur. DT-7 üretim koşullarında elde edilen ÇKK taneciklerinin kimyasal

içeriği %55,32 CaO, %43,50 CO₂, %0,09 MgO, %0,05 Al₂O₃, %0,18 MnO ve %0,83 SiO₂'dir. Aynı örneğin BET özgül yüzey alanı değeri ise 10,832 m²/g olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. Na⁺ İyonu Varlığında Farklı Şartlarda Üretilen ÇKK Kristallerine Ait SEM Görüntüleri

3.2. NH₄⁺ İyonu Varlığında ÇKK Üretimi

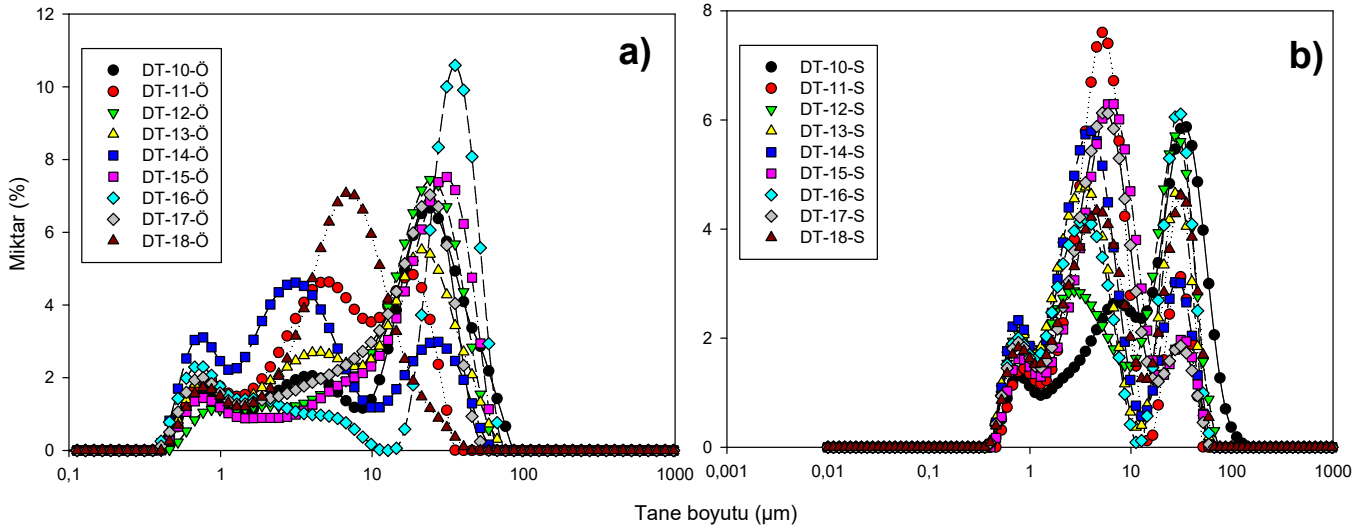
Sisteme CO₂ gazı beslemeden önce yapılan ultrasonik güç uygulaması neticesinde elde edilen ürünün ve deney sonrası elde edilen ÇKK'ın boyut dağılımı değerleri Şekil 9'da görülmektedir. Genel olarak; deney öncesinde ve deney sonucunda elde edilen ürünlerin bimodal (iki tepeli) tane boyut dağılımına sahip olduğu gözlenmiştir. SPAN faktör değerleri de Na⁺ iyonu varlığında üretilen ÇKK kristallerine göre yüksektir (Tablo 4).

SPAN faktörü değerinin yüksek olması, üretilen ÇKK kristalleri içinde çubuksu yapıda taneciklerin olabildiğine işaretir. Aynı zamanda ürünlerin d₉₀ değerleri de beklenen değerlerden yüksek çıkmıştır (örneğin; DT-10; d₉₀ = 54,60 µm). Nitekim, gerçekleştirilen XRD analiz sonuçları da DJ kristallerinin tamamen ÇKK kristallerine dönüşmediğini işaret etmektedir (Şekil 9). Bilindiği gibi DJ çubuksu yapıya sahip bir malzemedir (Şekil 2).

Tablo 4.

NH₄⁺ Varlığında ÇKK Üretimi Öncesi Ve Sonrasında Tane Boyut Özellikleri

Deney Kodu	Alkali kaynağı : NH ₄ OH					
	Önce			Sonra		
	d ₅₀ (µm)	SPAN	SDD (µm)	d ₅₀ (µm)	SPAN	SDD (µm)
DT-10	19,00	2,38	3,83	19,80	2,67	4,55
DT-11	6,41	3,28	2,96	5,50	5,04	3,22
DT-12	18,7	2,01	5,16	10,30	3,75	2,91
DT-13	11,80	2,96	3,26	4,53	7,53	2,45
DT-14	3,77	7,77	2,02	4,30	6,91	2,38
DT-15	21,2	2,02	4,61	6,22	3,86	3,13
DT-16	30,1	1,67	3,21	5,51	6,72	2,75
DT-17	14,0	2,31	3,30	5,41	4,17	2,69
DT-18	6,50	2,23	3,07	6,31	6,00	2,94



Şekil 9. NH₄⁺ Varlığında CO₂ Gazı Beslemeden Önce (a) Ve Sonra (b) Tane Boyut Dağılımı Değerleri

Şekil 10'da görülen XRD grafikleri; her bir deneyde ÇKK üretiminin başarı ile sağlanmadığını, üretim şartlarına göre kalsit, vaterit ve jips kristallerinin elde edilen son ürünün içinde olduğunu göstermektedir. Gerçekleştirilen Rietveld analizine (Tablo 5) göre de yalnızca DT-10, DT-15 ve DT18 koduna sahip deneylerde üretilen ÇKK kristallerinin tamamıyla kalsit kristallerinden oluştuğu görülmektedir. DT-17 şartlarında gerçekleştirilen deneylerde ise kalsit ve vaterit kristallerinden oluşan ÇKK elde edilmiştir.

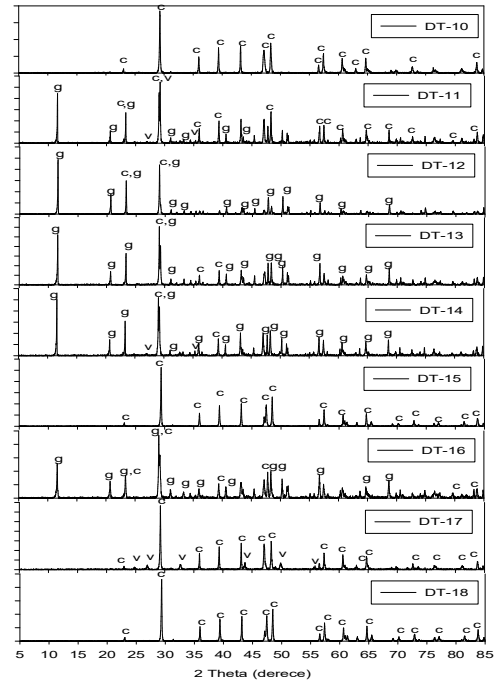
Tablo 5.

Rietveld Analizine Göre Elde Edilen Ürünlerin İçerdiği Minerallerin Dağılımları (%)

Deney No	Kalsit	Vaterit	Jips
DT-10	100,0	-	-
DT-11	25,6	11,4	62,9
DT-12	16,5	-	83,5
DT-13	26,4	-	73,6
DT-14	50,3	-	49,7
DT-15	100,0	-	-
DT-16	41,0	-	59,0
DT-17	68,5	31,5	-
DT-18	100,0	-	-

Reaktöre CO₂ gazı beslemesine başlanmadan önce DT-11, DT-12, DT-13, DT-14 ve DT-16 deney şartlarında uygulanan ultrasonik güç ve sürenin etkisi ile çözeltinin sıcaklığı 65 °C seviyesine yükselmiştir. Bu sıcaklığın etkisi ile çözeltideki NH₄⁺ iyonlarının buharlaşmaya

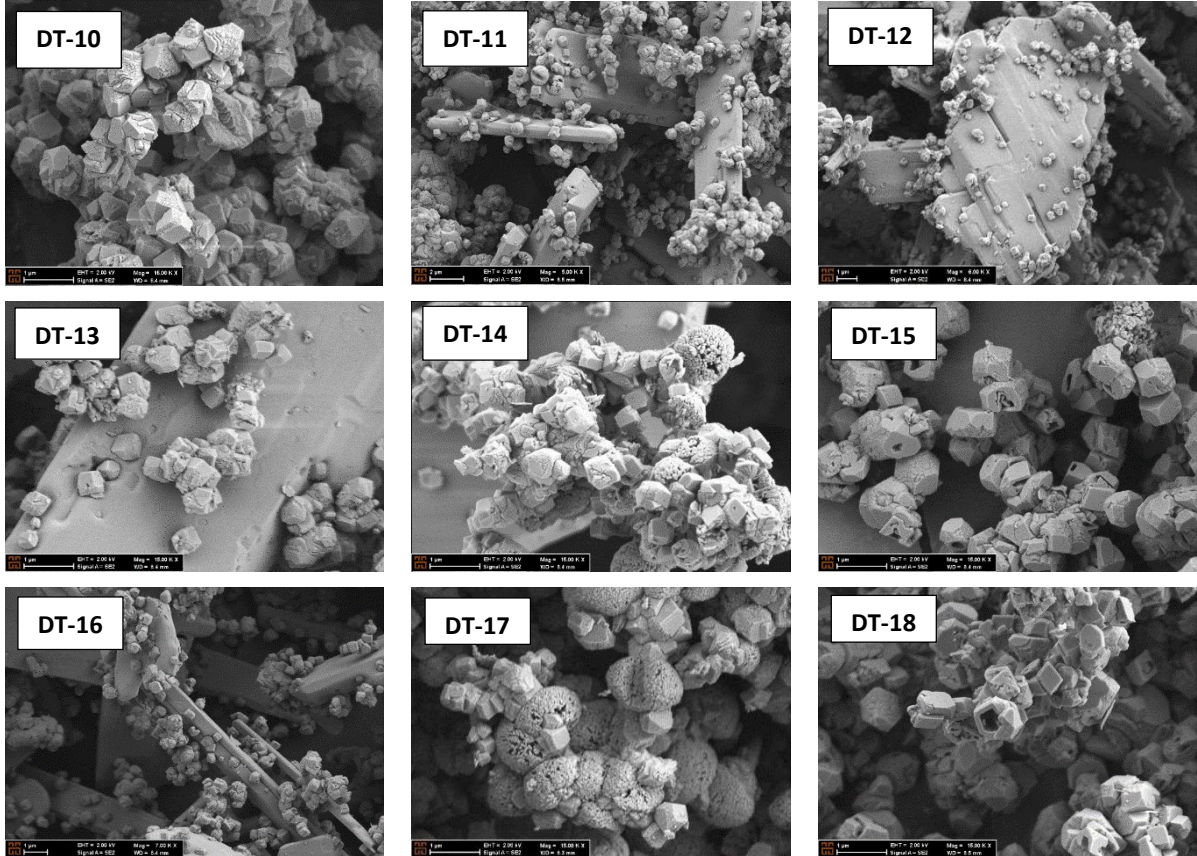
başladığı düşünülmektedir. Sonuç olarak; çözelti içinde hedeflenen seviyede NH₄⁺ iyonu olmaması nedeniyle DJ'in Ca(OH)₂'a dönüşümü %100 bir şekilde gerçekleşmemiştir. Bu nedenle; CO₂ beslemesi ile birlikte çözelti içindeki bulunan Ca(OH)₂ iyonlarının ÇKK'a dönüşümü sağlanmış olup, son ürün içinde DJ kristalleri de tespit edilmiştir (DT-11, DT-12, DT-13, DT-14 ve DT-16)



Şekil 10. NH₄⁺ İyonu Varlığında Elde Edilen Ürünlere Ait XRD Patternleri (C = Kalsit, V= Vaterit, G = jips)

Şekil 11’de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde ise; DT-10, DT-15 ve DT-18 şartlarında üretilen ÇKK taneciklerinin oldukça keskin yapılı kübik kristallerden oluştuğu görülmektedir. Kalsit kristallerinden oluşan ve DT-10 üretim koşullarında elde edilen ÇKK taneciklerinin kimyasal içeriği belirlenmiştir. XRF ve AAS analiz sonuçlarına göre; üretilen ÇKK tanecikleri kimyasal içeriği %55,45 CaO, %43,15 CO₂, %0,12 MgO, %0,18 Al₂O₃, %0,20 MnO ve %0,84 SiO₂’den oluşmaktadır. Aynı örneğin BET özgül yüzey alanı değeri ise 7,256 m²/g olarak belirlenmiştir.

DT-11, DT-13 ve DT-16’da ise; ince çubuksu yapıya sahip DJ kristalleri üzerinde kübik kalsit taneciklerinin oluşmaya başladığı görülmektedir. Ancak; uygulanan deney şartlarında DJ’in tamamıyla ÇKK’a dönüşümü sağlanamamıştır. DT-17 şartlarında üretilen ÇKK kristalleri içinde küresel yapılı vaterit kristalleri SEM görüntülerinde de tespit edilmiştir. Bu şartlarda kalsit ve vaterit kristallerinden oluşan ÇKK elde edilmesinin nedeni ise; CO₂ beslemesi öncesinde uygulanan ultrasonik güç değerinin %20 olması ile açıklanabilir.



Şekil 11. NH₄⁺ İyonu Varlığında Farklı Şartlarda Elde Edilen Ürünlere Ait SEM Görüntüleri

3.3. İstatiksel Deneysel Tasarım Sonuçları

Taguchi yaklaşımı ile gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçlar değerlendirilirken, Na⁺ varlığında yapılan deneylerde çıktı olarak dikkate alınan değer “deney süresi” iken, NH₄⁺ varlığında yapılan deneylerde ise çıktı olarak dikkate alınan değer elde edilen ürünün “kalsit miktarı” olarak belirlenmiştir. Birbirinden farklı çıktıların değerlendirme kriteri olarak seçilmesinin nedeni aşağıda belirtilmiştir.

- (1) Na⁺ iyonu varlığında elde edilen ÇKK taneciklerinin kalsit kristallerinden oluşmuş olması,
- (2) NH₄⁺ iyonu varlığında her bir aşamada ÇKK’ın tam olarak üretilmemiş olması

Bu amaçla; Na⁺ iyonu varlığında gerçekleştirilen üretimlerde üretim şartlarının üretim süresine olan etkisi ortaya konmuştur. NH₄⁺ varlığında ise; ÇKK’ın tam olarak oluşmamasının hangi parametreden kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir. Bilindiği gibi, Taguchi yöntemi ile elde edilen sonuçlar değerlendirilirken üç farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar sırasıyla “küçük en iyidir”, “orta en iyidir” ve “büyük en iyidir” şeklindedir. Bu çalışmada; Na⁺ varlığında gerçekleştirilen deneylerde çıktı olarak deney süresi dikkate alındığından “en küçük en iyidir” yaklaşımı kullanılmıştır. NH₄⁺ varlığında ise elde edilen ürünün kalsit miktarı dikkate alınmış, “en büyük en iyidir” yaklaşımı tercih edilmiştir.

3.3.1 Na⁺ İyonu Varlığında Reaksiyon Süresinin Değerlendirilmesi

Na⁺ varlığında gerçekleştirilen deneylerde çıktı olarak kullanılan deney süresi değerleri Taguchi yaklaşımında S/N oranına dönüştürülmüştür. Taguchi analizi sonucunda elde edilen S/N değerleri Şekil 12'de görülmektedir. Uygulanan parametreler için en optimum şartlar; CO₂ hızı 5 lt/dk, reaksiyon sıcaklığı oda sıcaklığı, ultrasonik güç %100 ve ultrasonik güç uygulama süresi 4 dk olarak belirlenmiştir.

Regresyon analizine göre elde edilen denklem aşağıda verilmiştir. Modelin R² değeri %87,59 olarak belirlenmiştir.

Model Özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
143,938	87,59%	75,18%	46,62%

ANOVA analizi gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar için üretim parametrelerinin bireysel olarak etkileri belirlenmiştir. Tablo 6'da ANOVA analizi sonuçları görülmektedir.

ANOVA analizi sonuçları değerlendirildiğinde; deney süresinin kısalmasında en büyük etken parametre olarak sisteme beslenen CO₂ gazı besleme hızı olarak belirlenmiştir. Diğer parametrelerin ise; kayda değer bir etkisi görülmemektedir.

3.3.2 NH₄⁺ İyonu Varlığında Elde Edilen Üründeki CaCO₃ Miktarının Değerlendirilmesi

NH₄⁺ varlığında gerçekleştirilen deneylerde çıktı olarak kullanılan toplam CaCO₃ mineralleri miktarı Taguchi yaklaşımında S/N oranına dönüştürülmüştür. Taguchi analizi sonucunda elde edilen S/N değerleri Şekil 13'de grafik şeklinde görülmektedir. Bu grafiklerden, NH₄⁺ varlığında CaCO₃ minerallerinden oluşan ÇKK üretebilmek için uygulanması gereken deney şartları kolay bir şekilde tespit edilebilmektedir.

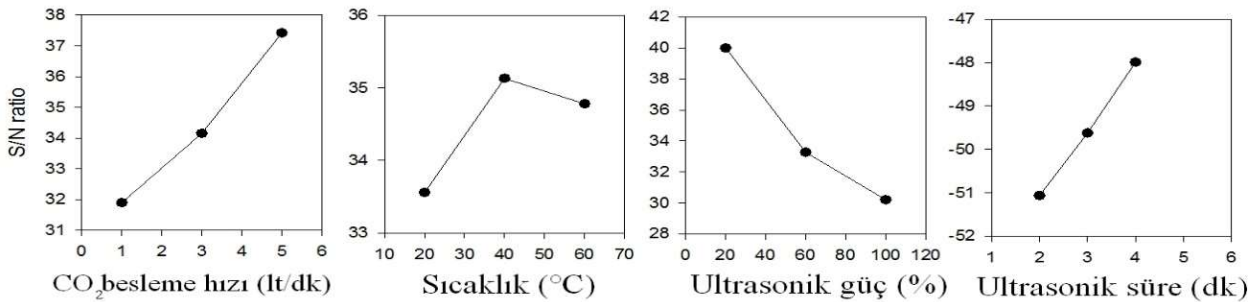
Tablo 6.

ANOVA Analizi Sonuçları

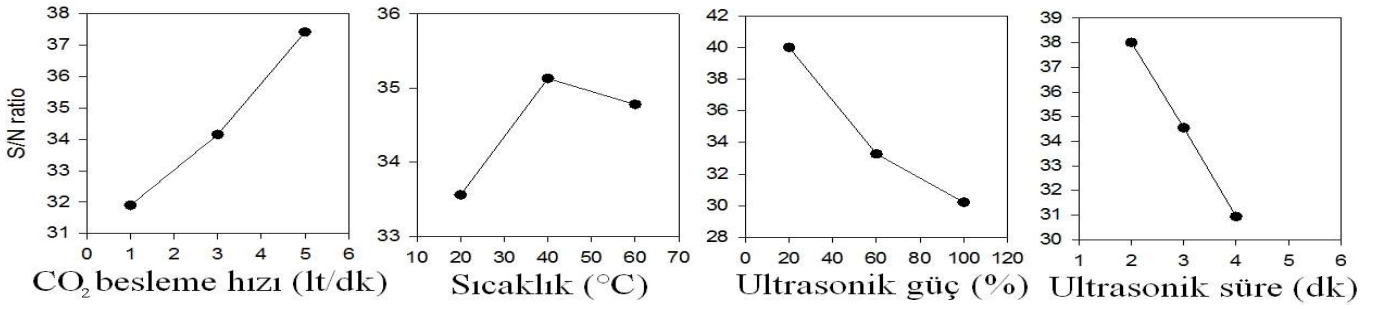
Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Katkı Oranı (%)*
Regresyon	4	584783	146196	7,06	0,042	
CO₂ Hızı	1	567338	567338	27,38	0,006	84,9746
Sıcaklık	1	337	337	0,02	0,905	0,050475
Ultrasonik Güç	1	2604	2604	0,13	0,741	0,390021
Ultrasonik Güç Uygulama Süresi	1	14504	14504	0,70	0,450	2,172376
Hata	4	82872	20718			12,41238
Toplam	8	667656				

Regresyon Denklemi

$$\text{Deney süresi} = 1013 - 153,8 \text{ CO}_2 \text{ Hızı} + 0,37 \text{ Sıcaklık} - 0,52 \text{ Ultrasonik Güç} - 49,2 \text{ Ultrasonik Güç Uygulanma Süresi}$$



Şekil 12. Deney Süresi için S/N Oranları

Şekil 13. Elde Edilen Üründeki CaCO₃ Miktarı İçin S/N Değerleri

Uygulanan parametreler için bu yöntemle bulunan en optimum şartlar; CO₂ hızı 5 lt/dk, 40 °C reaksiyon sıcaklığında, ultrasonik güç %20 ve ultrasonik güç uygulama süresi 2 dk olarak belirlenmiştir. Ultrasonik gücün frekans değeri ve uygulama süresinin artmasına paralel olarak çözeltinin ÇKK üretimi öncesi sıcaklığı artmakta ve NH₄⁺ buharlaşmaya başlamaktadır. Bu nedenle de; istenilen şekilde kimyasal dönüşüm gerçekleşmemektedir [(D)'den Ca(OH)₂'e]. Böylelikle, sisteme CO₂ verildiğinde ÇKK'a dönüşüm kısıtlı olmaktadır. Regresyon analizine göre elde edilen denklem aşağıda görülmektedir. Modelin R² değeri %94,76 olarak belirlenmiştir.

Model Özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
11,6193	94,76%	89,51%	52,95%

Regresyon Denklemi

$$\text{CaCO}_3 \text{ miktarı} = 127,0 + 7,29 \text{ CO}_2 \text{ Hızı} + 0,409 \text{ Sıcaklık} - 0,801 \text{ Ultrasonik Güç} - 17,90 \text{ Ultrasonik Güç Uygulama Süresi}$$

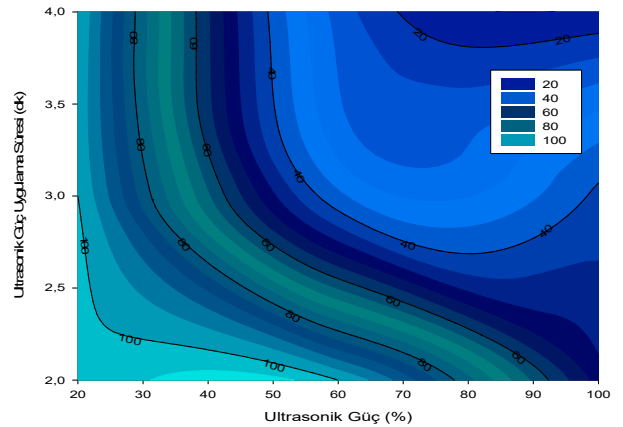
Aşağıda verilen ANOVA analizine göre de NH₄⁺ varlığında en etken parametrelerin ultrasonik güç uygulaması olduğu açık bir şekilde görülmektedir (Tablo 7).

Yüksek frekansta ultrasonik güç uygulaması zamana bağlı olarak ÇKK oluşumunu engellemektedir. Katkı oranları açısından değerlendirildiğinde parametreler etkinlik derecesine göre (büyükten küçüğe göre) (1) ultrasonik güç (%59,79), (2) ultrasonik güç uygulama süresi (%18,67), (3) CO₂ besleme hızı (%12,39) ve (4) reaksiyon sıcaklığı (%3,90) olacak şekilde sıralanmaktadır. Ultrasonik güç ve ultrasonik uygulama süresinin %100 CaCO₃'dan oluşan ÇKK elde edilebilmesi için etkisi Şekil 14'de görülen kontur grafiği ile daha iyi anlaşılmaktadır.

Tablo 7. ANOVA Analizi Sonuçları

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Katkı Oranı (%)*
Regresyon	4	9757,1	2439,3	18,07	0,008	
CO ₂ Hızı	1	1276,0	1276,0	9,45	0,037	12,39184
Sıcaklık	1	401,8	401,8	2,98	0,160	3,90207
Ultrasonik Güç	1	6156,8	6156,8	45,60	0,003	59,79159
Ultrasonik Güç Uygulama Süresi	1	1922,5	1922,5	14,24	0,020	18,67031
Hata	4	540,0	135,0			5,244195
Toplam	8	10297,1				100,00

* Katkı Oranı = Adj SS/Toplam Ads SS*100



Şekil 14. Ultrasonik Güç Uygulamasının ÇKK Eldesine Etkisi

Görüldüğü gibi, ultrasonik güç frekansı ve süresi arttırıldığında elde edilen nihai üründeki CaCO₃ miktarı lineer bir şekilde düşmektedir. Ultrasonik güç varlığında vaterit ve kalsit kristallerinden ÇKK üretiminin gerçekleşebilmesi için daha fazla oranda NH₄⁺ ilave edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Tablo 8.

Bu Çalışmada Üretilen Çkk Taneciklerinin Endüstriye Uygunluğu

Deney Şartları	Bu çalışmada üretilen ÇKK taneciklerinin özellikleri	ASTM standardına göre boya endüstrisinde kullanımı (ASTM D1366 – 86, 2020 ve ASTM D1199-86, 2020)	Benzer özelliklere sahip ÇKK taneciklerinin kullanılabilirliğinin araştırdığı önceki çalışmalar
DT-1	d ₅₀ : 6,60 µm Polimorf; kalsit, nano boyutta kübik kristal yapılı	SSD değeri: 3,32 µm Bu değerlere göre; SINIF – 2 (iri boya sınıfı)	
DT-2	d ₅₀ : 7,74 µm Polimorf; kalsit, nano boyutta skalenodrik kristal yapılı	SSD değeri: 4,30 µm Bu değerlere göre; SINIF – 2 (dolgu malzemesi)*	
DT-3	d ₅₀ : 7,25 µm Polimorf; kalsit, nano boyutta skalenodrik kristal yapılı	SSD değeri: 3,82 µm Bu değerlere göre; SINIF – 2 (iri boya sınıfı)	
DT-4	d ₅₀ : 5,77 µm Polimorf; kalsit, mikronize boyutta skalenodrik kristal yapılı	SSD değeri: 4,36 µm Bu değerlere göre; SINIF – 2 (iri boya sınıfı)*	Nano kristal yapısı nedeniyle kaplama sektöründe ve kağıt endüstrisinde kullanılabilir özelliktedir (ASTM STP 1135,1992; Wu, Queiroz ve Mohallem, 2016)
DT-5	d ₅₀ : 5,76 µm Polimorf; kalsit, nano boyutta skalenodrik kristal yapılı	SSD değeri: 3,72 µm Bu değerlere göre; SINIF – 2 (iri boya sınıfı)*	
DT-6	d ₅₀ : 9,40 µm Polimorf; kalsit, nano boyutta kübik kristal yapılı	SSD değeri: 3,40 µm Bu değerlere göre; SINIF – 2 (iri boya sınıfı)*	Ayrıca; yüzey alanı değeri 10m ² /g'den yüksek olan ÇKK tanecikleri, PVC üretiminde reolojik özelliklerin düzenlenmesinde de kullanılabilir (Zhang, Chen, Zhou, Wang ve Yun, 2002)
DT-7	d ₅₀ : 7,50 µm Polimorf; kalsit, nano boyutta kübik kristal yapılı	SSD değeri: 2,60 µm Bu değerlere göre; SINIF – 1 (ince boya sınıfı)*	
DT-8	d ₅₀ : 6,24 µm Polimorf; kalsit, nano boyutta kübik kristal yapılı	SSD değeri: 3,30 µm Bu değerlere göre; SINIF – 1 (ince boya sınıfı)*	
DT-9	d ₅₀ : 5,02 µm Polimorf; kalsit, nano boyutta kübik kristal yapılı	SSD değeri: 3,08 µm Bu değerlere göre; SINIF – 1 (ince boya sınıfı)*	

3.4 Farklı Şartlarda Üretilen ÇKK Taneciklerinin Endüstriyel Kullanım Açısından Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında farklı üretim koşullarında elde edilen ve homojen bir tane boyut dağılımı ve polimorf özelliği olan ÇKK taneciklerinin hangi sektörde ne şekilde değerlendirilebileceği ASTM standartları ve literatürde yapılan çalışmalar dikkate alınarak Tablo 8'de özetlenmiştir. Genel anlamda bu projede üretilen ÇKK taneciklerinin boya ve plastik endüstrilerinde değerlendirilebilir özellikte olduğu görülmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, DJ'in ÇKK taneciklerine direk mineral karbonatlaştırma yöntemi ile dönüşümü Taguchi yaklaşımından yararlanılarak araştırılmıştır. İki farklı alkali kaynağı kullanılmış olup, elde edilen sonuçlar birbiri ile kıyaslanmıştır. ÇKK üretimine başlanmadan önce DJ tanecikleri farklı frekans ve sürelerde ultrasonik güce maruz bırakılmıştır. Uygulanan her deney şartında Na⁺ iyonu varlığında DJ'in ÇKK'a dönüşümü başarılı bir şekilde gerçekleştirilirken, NH₄⁺ iyonu varlığında aynı şekilde verimli bir dönüşüm gerçekleşmemiştir.

Na⁺ iyonu varlığında, deney şartlarına da bağlı olarak DJ tanecikleri iğnemsî, kübik veya delikli yapılı kalsit kristallerine dönüşmüştür. Taguchi yaklaşımına göre,

optimum deney şartlarında üretilen kübik yapılı ÇKK taneciğinin d₅₀, SPAN ve SSD değerleri sırasıyla 5,02 µm 4,99 ve 2,60 µm olarak belirlenmiştir. Ürünün CaCO₃ içeriği ve BET özgül yüzey alanı değerleri sırasıyla %98,84 (%55,32 CaO ve %43,52 CO₂) ve 10,832 m²/g olarak belirlenmiştir Bu değerlere göre; üretilen ÇKK tanecikleri boya ve plastik sektörleri için gerekli kriterleri sağlamaktadır. Denklem 1'de temsilen gösterilen dönüşüm reaksiyonu gereği yapılan hesaplamalarda; 1 ton DJ'in ÇKK'a dönüşümü için gerekli olan NaOH miktarı 464 kg veya 650 kg NH₄OH kullanılması gereklidir. Reaksiyon sonucunda teorik olarak 580 kg ÇKK üretimi gerçekleşmektedir. Ayrıca, katı/sıvı ayrımı sonucunda elde edilen çözeltiler kullanılan alkali kaynağına göre Na₂SO₄ veya (NH₄)₂SO₄ içeriğine sahip olup, sırasıyla kimya (deterjan) ve ziraat (gübre) sektörlerinde değerlendirilebilir özelliğe sahiptirler.

Düşük boyuta sahip olan (öğütme ihtiyacı bulunmayan) artık malzemeler kullanılarak piyasaya bu denli katma değeri yüksek ürünün sunulmasının teknolojik ve ekonomik açıdan oldukça önemli olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak, farklı tane boyut dağılımlarına sahip ve değişen morfolojik özelliklerde ÇKK tanecikleri üretilmiştir. Üretilen ÇKK taneciklerinin kalite özellikleri bakımından endüstride boya ve plastik sektörlerinde kullanılabilir özellikte olduğu düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir (Proje numarası: 119M134).

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Soner TOP, makale yazımı, deneylerin gerçekleştirilmesi, analizlerin gerçekleştirilmesi, verilerin görselleştirilmesi; Mahmut ALTINER, deney tasarımının yapılması, makale yazımı, deneylerin gerçekleştirilmesi, analizlerin gerçekleştirilmesi, verilerin görselleştirilmesi; Burçin KAYMAKOĞLU, tane boyut analizlerinin gerçekleştirilmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Altiner, M., Top, S. ve Kaymakoğlu, B. (2021). Ultrasonic-assisted production of precipitated calcium carbonate particles from desulfurization gypsum. *Ultrasonics sonochemistry*, 72, 105421. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105421>
- Altiner, M., Top, S., Kaymakoğlu, B., Seçkin, İ. Y. ve Vapur, H. (2019). Production of precipitated calcium carbonate particles from gypsum waste using venturi tubes as a carbonation zone. *Journal of CO2 utilization*, 29, 117-125. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2018.12.004>
- ASTM D1199-86, 2020. "Standard Specification for Calcium Carbonate Pigments", American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- ASTM D1366 - 86, 2020. "Standard Practice for Reporting Particle Size Characteristics of Pigments", American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- ASTM STP 1135, 1992. "Lime Used for Precipitated Calcium Carbonate (PCC) for the Paper Industry," Innovations and Uses for Lime, D. D. Walker, Jr., T. B. Hardy, D. C. Hoffman, and D. D. Stanley, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1-7.
- Başaran, M. (2007). *Karbondioksit (CO₂) tutma ve depolama*, TMMOB Türkiye Vi. Enerji Sempozyumu - Küresel Enerji Politikaları Ve Türkiye Gerçeği, 442-456.
- Blue, C.R., Giuffre, A., Mergelsberg, S., Han, N., De Yoreo, J.J. ve Dove, P.M. (2017). Chemical and physical

controls on the transformation of amorphous calcium carbonate into crystalline CaCO₃ polymorphs. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 196, 179-196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2016.09.004>

Boyjoo, Y., Pareek, V.K. ve Liu, J. (2014). Synthesis of micro and nano-sized calcium carbonate particles and their applications, *J. Mater. Chem. A*, 35 (2), 14270-14288. doi: <https://doi.org/10.1039/C4TA02070G>

Casanova, H. ve Higuít, L.P. (2011). Synthesis of calcium carbonate nanoparticles by reactive precipitation using a high pressure jet homogenizer, *Chemical Engineering Journal*, 175, 569-578, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.09.051>

Ercan, M., Koltka, S. ve Sabah, E. (2018). Mermer Artıklarından Ögütülmüş Kalsiyum Karbonat (GCC) Üretimi: Yaş Ve Kuru Ögütme Ürünlerinin Karşılaştırılması, *Madencilik*, 2018, 57 (1), 35-43.

Huijgen W.J., Witkamp G.-J. ve Comans R.N. (2006). Mechanisms of aqueous wollastonite carbonation as a possible CO₂ sequestration process, *Chemical Engineering Science*, 61 (13), 4242-4251. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2006.01.048>

Jimoh, O.A., Ariffin, K.S., Hussin, H.B. ve Temitope, A.E. (2018). Synthesis of precipitated calcium carbonate: a review, *Carbonates and Evaporites*, 33 (2), 331-346. doi: <https://doi.org/10.1007/s13146-017-0341-x>

Karakaş, F. ve Celik, M. (2012). Effect of quantity and size distribution of calcite filler on the quality of water borne paints, *Progress in Organic Coatings*, 74 (3), 555-563. doi: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2012.02.002>

Konopacka-Łyskawa, D., Cisiak, Z. ve Kawalec-Pietrenko, B. (2009). Effect of liquid circulation in the draft-tube reactor on precipitation of calcium carbonate via carbonation, *Powder Technology*, 190 (3), 319-323. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2008.08.014>

Lackner, K.S. (2002). Carbonate chemistry for sequestering fossil carbon, *Annual review of energy and the environment*, 27 (1), 193-232. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.27.1.22001.083433>

Lee, M.G., Ryu, K.W., Chae, S.C. ve Jang, Y.N. (2015). Effects of temperature on the carbonation of flue gas desulphurization gypsum using a CO₂/N₂ gas mixture, *Environmental Technology*, 36 (1), 106-114. doi: <https://doi.org/10.1080/09593330.2014.938126>

Leip, A., Achermann, B., Billen, G., Bleeker, A., Bouwman, A., De Vries, W. ve Winiwarter, W. (2011). *Integrating nitrogen fluxes at the European scale*, In M. Sutton, C. Howard, J. Erisman, G. Billen, A. Bleeker, P. Grennfelt,

- et al. (Eds.), *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives* (pp. 345-376). Cambridge: Cambridge University Press.
- Matsumoto, M., Fukunaga, T. ve Onoe, K. (2010). Polymorph control of calcium carbonate by reactive crystallization using microbubble technique, *Chem. Eng. Res. Des.*, 88 (12), 1624-1630. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.02.007>
- Mattila, H.-P. ve Zevenhoven, R. (2015). Mineral carbonation of phosphogypsum waste for production of useful carbonate and sulfate salts, *Frontiers in Energy Research*, 3, 48, 1-8. doi: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2015.00048>
- Mori, Y., Isogai, A. ve Enomae, T. (2010). Application of vaterite-type calcium carbonate prepared by ultrasound for ink jet paper, *Journal of Imaging Science and Technology*, 54 (2), 20504-1-20504-6(6). Doi: <https://doi.org/10.2352/J.ImagingSci.Technol.2010.54.2.020504>
- Peng, F.F. ve Yu, X. (2015). Pico-nano bubble column flotation using static mixer-venturi tube for Pittsburgh No. 8 coal seam, *International Journal of Mining Science and Technology*, 25 (3), 347-354. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.03.004>
- Radha, A., Forbes, T.Z., Killian, C.E., Gilbert, P. ve Navrotsky, A. (2010). *Transformation and crystallization energetics of synthetic and biogenic amorphous calcium carbonate*, Proceedings of the National Academy of Sciences, 107 (38), 16438-16443.
- Roskill, 2012. *The economics of precipitated calcium carbonate*. Seventh Edition. Roskill Information Services Ltd.
- Roth, R., Schoelkopf, J., Huwyler, J. ve Puchkov, M. (2018). Functionalized calcium carbonate microparticles for the delivery of proteins, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 122, 96-103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2017.10.012>
- Song, K., Kim, W., Park, S., Bang, J.-H., Jeon, C.W. ve Ahn, J.-W. (2016). Effect of polyacrylic acid on direct aqueous mineral carbonation of flue gas desulfurization gypsum, *Chemical Engineering Journal*, 301, 51-57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.04.142>
- Toraman, Ö.Y. ve İnal, H. (2014). Ultrasonik enerji ile nano boyutta fonksiyonel mineral dolgu üretilmesi ve ürün özelliklerinin geliştirilmesi, TÜBİTAK projesi, Proje No: 112M037, ss. 27.
- Ulkeryildiz, E., Kilic, S. ve Ozdemir, E. (2017). Nano-CaCO₃ synthesis by jet flow, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 512, 34-40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.10.037>
- Wang, B., Pan, Z., Cheng, H., Chen, Z. ve Cheng, F. (2018). High-yield synthesis of vaterite microparticles in gypsum suspension system via ultrasonic probe vibration/magnetic stirring, *Journal of Crystal Growth*, 492, 122-131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2018.02.021>
- Wang, L., Sondi, I. ve Matijevic, E. (1999). Preparation of uniform needle-like aragonite particles by homogeneous precipitation, *J. Colloid Interf. Sci.*, 218 (2), 545-553. doi: <https://doi.org/10.1006/jcis.1999.6463>
- Wu, J.-L., Wang, C.-Q., Zhuo, R.-X. ve Cheng, S.-X. (2014). Multi-drug delivery system based on alginate/calcium carbonate hybrid nanoparticles for combination chemotherapy, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 123, 498-505. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2014.09.047>
- Wu, W.S., Queiroz, M.E. ve Mohallem, N.D.S. (2016). The effect of precipitated calcium carbonate nanoparticles in coatings, *Journal of Coatings Technology and Research*, 13 (2), 277-286. doi: <https://doi.org/10.1007/s11998-015-9740-x>
- Zhang, H., Chen, J.F., Zhou, H.K., Wang, G.Q. ve Yun, J. (2002). Preparation of nano-sized precipitated calcium carbonate for PVC plastisol rheology modification, *Journal of materials science letters*, 21 (16), 1305-1306, doi: <https://doi.org/10.1023/A:1016579724682>

GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTİREN GRANÜLLERİ İÇEREN HAFİF BETONLARIN SERTLEŞMİŞ HALDEKİ ÖZELİKLERİ

Mehmet CANBAZ^{1*}, Mustafa EZİCİ²

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir,

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-0175-6155>

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 26480, Eskişehir,

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-6037-9022>

Anahtar Kelimeler

Hafif beton, EPS granüller, mekanik özellikler, fiziksel özellikler.

Öz

Geleneksel malzeme bileşenlerinin yerine atık malzemelerin, bağlayıcı malzemelerin veya farklı agrega tür ve boyutlarının kullanılmasıyla elde edilen betonların davranışları üzerine önemli çalışmalar yapılmaktadır. Yapıların iyi bir ısı yalıtımına, depreme karşı dayanıklı ve yapı elemanlarının hafif olma gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bunun yanında, inşaat malzemeleri üzerine çevresel olarak sürdürülebilir hammaddelerin kullanılmasına olan ilgi artmaktadır. Bu amaçla, bu çalışmada Agregat olarak Genleştirilmiş Polistiren Köpük (EPS) granüller kullanılmıştır. Çalışma kapsamında su-çimento oranı 0.4 ve 0.5 olacak şekilde, agrega-çimento oranı 1 ve 2 olacak şekilde 4 farklı karışım hazırlanmıştır. Üretilen karışımlardan 4x4x16 cm boyutlu prizma kalıplar kullanılarak numuneler alınmıştır. Üretilen numunelerin birim ağırlıkları, ultrases geçiş hızları, ağırlıkça su emmeleri, eğilme ve basınç dayanımları hesaplanmıştır. Deney sonuçları, birim ağırlığı 1000-1500 kg/m³ aralığında basınç dayanımı 10-17 MPa aralığında taşıyıcı hafif betonlar elde edilmiştir. 10 MPa'nın altına düşmeyen dayanımları bu ürünlerin blok veya panel şeklinde bölme duvar elemanı olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Dayanım artışı istendiğinde su-çimento oranının 0.4'e düşürülerek 15 MPa üstünde basınç dayanımları elde edilebileceği görülmüştür.

PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE CONTAINING EXPANDED POLYSTYRENE BEADS

Keywords

Lightweight concrete, EPS beads, mechanical properties, physical properties.

Abstract

There are important studies on the behavior of concrete obtained by using waste materials, binding materials or different aggregate types and sizes instead of traditional material components. The need for good thermal insulation, earthquake resistance and lightness of building elements has emerged. In addition, there is increasing interest in using environmentally sustainable raw materials on construction materials. For this purpose, Expanded Polystyrene Foam (EPS) granules were used as aggregate in this study. Within the scope of the study, 4 different mixes were prepared with a water-cement ratio of 0.4 and 0.5, and an aggregate-cement ratio of 1 and 2. Samples were taken from the mixtures produced using 4x4x16 cm prism molds. The unit weights, ultrasound transmission rates, water absorption by weight, bending and compressive strengths of the produced samples were calculated. According to the test results, light bearing concretes with a unit weight of 1000 to 1500 kg/m³ and a compressive strength of 10 to 17 MPa were obtained. Their strengths that do not fall below 10 MPa show that these products can be used as partition wall elements in the form of blocks or panels. It has been observed that compressive strengths above 15 MPa can be obtained by reducing the water cement ratio to 0.4 when an increase in strength is required.

* Sorumlu yazar; e-posta : mcanbaz@ogu.edu.tr



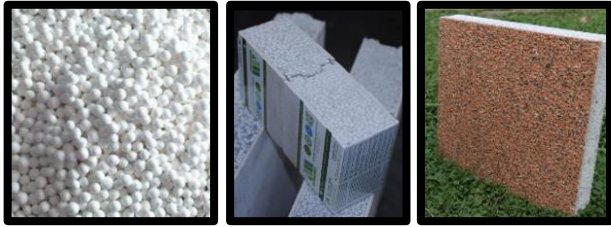
Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

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

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 07.07.2021	Submission Date	: 07.07.2021
Kabul Tarihi	: 22.11.2021	Accepted Date	: 22.11.2021

1. Giriş

En yaygın yapı malzemesi olarak kullanılan beton, düşük çekme dayanımına, yüksek birim ağırlığa sahiptir. Öncelikle bu zayıf noktalar, ağır yapılara ve dolayısıyla sismik uyarılar sırasında büyük atalet kuvvetlerine neden olur. Öte yandan, betonun düşük çekme dayanımı ve kırılma tokluğu, betonarme yapıların tasarımının kaçınılmaz bir parçası olan inşaat demiri, ağ ve lif gibi takviye elemanlarının kullanılmasını sağlar. Normal ağırlıktaki betonun yoğunluğunu azaltmak için yaygın bir uygulama, kısmen kum ve çakılın doğal veya sentetik hafif ağırlıklı parçacıklarla değiştirilmesidir. Bunların arasında, ultra hafif, emici olmayan kapalı hücreli geliştirilmiş polistiren (EPS) boncuklar, gelecek vaat eden fiziksel ve mekanik özelliklere sahip çok çeşitli hafif yapısal ve yapısal olmayan betonların üretilmesinde etkili bir şekilde kullanılabilir (Babavalian, Ranjbaran ve Shahbeyk 2020). Şekil 1' de görüldüğü gibi EPS boncuklar ile üretilen çimento esaslı yapı elemanları uygulamada kullanılmaktadır (Boyuejia Industrial Co. Ltd., 2021).



Şekil 1.Çimento bağlayıcılı EPS boncuk içeren ürünler

Emici olmayan, hidrofobik ve düşük yoğunluklu EPS (10 ila 30 kg/m³ arasında değişen) betona dâhil edildiğinde, önemli ölçüde betonun yalıtım katmanlarında ve bloklarında ısı yalıtımını iyileştirir. EPS beton, yapısal elemanlar için düşük yoğunluk, azaltılmış kesit ve azaltılmış çelik donatı avantajlarına sahiptir, bu da EPS betonunun yarı yapısal veya yapısal elemanlarda uygulanmasını olanak sağlar (Li, Miao, You, Hu ve Fang 2018). Cadere, Barbuta, Rosca, Serbanouj, Burlacu ve Oancea (2017), polistiren granüllü beton hazırlamak için, %20 ila %100 hacim arasında değişen dozajlarda, agrega ikamesi olarak uçucu kül ve polistiren granülleri içeren beton üretmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, yapısal olmayan elemanlar için hafif malzeme olarak polistiren granüllü betonun kullanılması, atık

malzemeleri kullanarak çevre kirliliğini azaltılabileceği ve inşaat maliyetlerini düşürmek için güvenilir bir çözüm sunabileceği sonucuna varmışlardır. Dixit, Pang, Kang ve Moon (2019), EPS'nin dayanım üzerindeki bozucu etkisini azaltmak için hafif EPS çimento kompozit (LECC), ultra yüksek performanslı betonun (UHPC) temel malzemesi kullanılarak geliştirilmiştir. Sonuç olarak LECC'nin, %45 EPS hacminde bile, basınç dayanımı 27 MPa olarak ölçülmüş ve yapısal uygulamada kullanılabilir bir malzeme olduğu kanaatine varılmıştır. Dayanım ısı iletkenlik (TC) oranına dayalı olarak, test ettikleri başka bir karışımda 44.7 MPa'lık basınç dayanımı, 1677 kg/m³'lük yoğunluk ve 0.58 W/m-K'lık ısı iletkenlik ile incelenen karışımlar arasında dayanım ve yalıtımın en uygun kombinasyonu olduğunu görmüşlerdir. Schackow, Effting, Folgueras, Güths ve Mendes (2014), çimento, kum, hava sürükleyici, süper akışkanlaştırıcı karışımlarına ilave edilen iki farklı hafif agreganın (vermikülit ve EPS) betonun mekanik ve ısı özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. EPS betonları için minimum ve maksimum basınç dayanımı değerleri, 28 günde 7.74 ve 15.55 MPa olarak bulunmuş önceki çalışma sonuçlarına göre farklılık, EPS kullanım düzeyleriyle ilişkilendirilmiştir. Daha az hava sürükleyici ve hafif agrega kullanımının daha yüksek basınç dayanımı sağladığı belirtilmiştir. Rosca ve Corobceanu (2021), çalışmalarında, 2 ila 8 mm arasındaki agrega parçacıkları kısmen EPS boncukları ile değiştirilmiştir. Bu çalışmaları sonucunda, EPS boncuklu sertleştirilmiş betonun, bazı yapısal uygulamalarda ve ayrıca geliştirilen karışımlarda kullanılmak üzere yeterli nihai dayanım sağladığı, polistiren boncukların üst yüzeye doğru ayrışmasının zayıf olduğu ve kütle betonu içindeki dağılımlarının üniform olduğu tespit edilmiştir. Hem su-çimento oranı 0.43 hem de 0.39 için, normal agrega yüzdesi değişiminin EPS boncuk hacminin %0'dan %35'e artmasıyla betonun görünen yoğunluğu %25'e kadar azaldığı tespit etmişlerdir. Babu ve Babu (2003), çalışmalarında, çimento esaslı malzeme olarak silis dumanı içeren betonlarda ve harçlarda hafif agrega olarak EPS boncukları kullanmışlardır. Bu projelerinin temel amacı EPS betonlarının dayanım ve dayanıklılık performansını incelemektir. Elde edilen betonların yoğunluklarının 1500 ila 2000 kg/m³ arasında değiştiği ve buna karşılık gelen dayanımların 10 ila 21 MPa

arasında değiştiği görülmüştür. Chen ve Liu (2004), bu çalışmalarında EPS betonu yapmak için 'kum sarma' tekniğine benzer bir ön karışım yöntemi kullanılmıştır. Araştırmaları sonucunda, 800–1800 kg/m³ yoğunluğa ve 10–25 MPa basınç dayanımına sahip EPS betonunun, kaba ve ince agrega kısmen EPS boncukları ile değiştirilerek yapılabileceğini göstermişlerdir. Liu, Ma, Jiang, Xiao, Huang, Liu ve Tang (2016), EPS doldurulmuş hafif betonun darbe tepkisini, yüksek hızlı bir fotoğraf sistemi ile donatılmış bir çekiç sistemi kullanılarak deneysel olarak incelemişlerdir. 4 m/s'de darbe altındaki %80,3 EPS ile betonda enerji kaybında %18,6'ya varan artış gözlemişlerdir. Allahverdi, Azimi ve Alibabae (2018), bu çalışmalarında, geliştirilmiş polistiren boncuklar kullanılarak farklı dayanım derecelerinde yeni bir yeşil hafif reaktif toz beton (GLRPC) sınıfı geliştirilmişlerdir. Ölçümlere dayalı olarak, GLRPC karışımları için sırasıyla 1257 ila 1840 kg/m³, 20,8 ila 85,6 MPa, %3,47 ila 0,22 arasında yoğunluk, basınç dayanımı ve su emme değerleri elde etmişlerdir. Tamut, Prabhu, Venkataramana ve Yaragal (2014), bu araştırmalarının amacı, EPS boncukları içeren hafif betonun basınç dayanımı ve çekme dayanımları gibi özelliklerini incelemektir. Sonuç olarak; beton karışımlarında EPS boncuk içeriğinin artması betonun basınç ve çekme dayanımını azalttığını tespit etmişlerdir. Herhangi bir özel bağlayıcı madde içermeyen tüm EPS betonlarının iyi işlenebilirlik ve kolayca sıkıştırılma özeliği gösterdiğini tespit etmişlerdir. Petrella, Mundo ve Notarnicola 2020, çalışmalarında, geri dönüştürülmüş EPS içeren çimento harçlarının reolojik, termomekanik, mikroyapısal ve ıslatma özellikleri analiz edilmiştir. Bu hafif termo yalıtkan kompozitler, önceden işlem görmemiş ikincil hammaddeler olmadan hazırlandıkları ve iç mekân uygulamaları için kullanılabilirlikleri için çevresel açıdan sürdürülebilir malzemeler oldukları sonucuna varmışlardır. Vakhshouri ve Nejadi (2018) EPS boncuklar içeren hafif betonun karışım tasarımı ve mekanik özellikleri üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, konu üzerine yapılmış 55 deneysel programda 154 karışım tasarımı sonuçları hakkında inceleme yapmışlardır. Ravindrarajah ve Tuck 1994, Kimyasal olarak işlenmiş geniş polistiren boncuklar içeren sertleştirilmiş betonun özelliklerine ilişkin deneysel bir araştırmanın sonuçlarını bildirmektedirler. Araştırmaları sonucunda, sabit yoğunluğa sahip polistiren agregalı betonun dayanım, sertlik ve kimyasal direncinin su-çimento oranından etkilendiği görülmüştür.

Yapılan çalışmalardan da görüldüğü üzere EPS boncukların hafif beton üretimde kullanılabilirliğine yönelik araştırmalar hem uygulamada hem de akademik açıdan güncelliğini korumaktadır. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak hem EPS boncuk oranı değiştirilmiş hem de su-çimento oranı değiştirilerek elde edilen hafif betonların özellikleri araştırılmıştır. Özellikle EPS'nin su emmesi ve düzgün yuvarlak yüzeyi sayesinde yüzey alanının azalması sonucu kullanılan ıslatma suyu olarak da bilinen yüzey suyunun azalmasına ve karışım suyunun daha etkili kullanılmasını sağlamıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışma etik kurul kararı gerektiren bir çalışma değildir. Çalışma bir kurumda yapılan uygulamayı kapsamamaktadır. Ayrıca araştırma ve yayın etiğine de uyulmuştur.

Çimento: Bu çalışmada CEM I 42.5R çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentonun özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Kullanılan Çimentonun Özellikleri		
SO ₃	%2.94 Yoğunluk, g/cm ³	3.05
MgO	%1.65 Özgül Yüzey, cm ² /g	4015
CaO _{serbest}	%1.71 Priz Başlama, dk	158
Na ₂ O+0.658 K ₂ O	%0.51 Priz Bitiş, dk	270
CI-	%0.01 Basınç Dayanımları, MPa	
LOI	%3.36 7 gün	27.8
Çözünmez kalıntı	%0.5 28 gün	57.6

Karma Suyu: Karma suyu olarak Eskişehir şebeke suyu kullanılmıştır. Şebeke suyunun analizi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2

Kullanılan Suyun Özellikleri		
Kimyasal Özellik, mg/l		Fiziksel Özellik
Al 0,043	SO ₄ 80	İletkenlik, µS/cm 628
NO ₃ 11,1	Fe 0,007	Sertlik, Fd° 30,11
NO ₂ 0,005	Mn 0,015	pH 7,35
NH ₄ 0,06	P 0,06	Bulanıklık, NTU 0,25

Genleştirilmiş polistiren (EPS) boncuklar: Kullanılan strafor agregası granül ve genleştirilmiş polistiren esaslı bir malzemedir. Birim hacim ağırlığı 0,02 kg / dm³'tür. Kullanılan EPS boncuk özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3

EPS Boncukların Özellikleri

Birim Ağırlık, kg/m ³	20
Basınç Dayanımı, MPa	0.09
Tane Boyut Aralığı, mm	0.5-2
Hacimce su emme, %	4

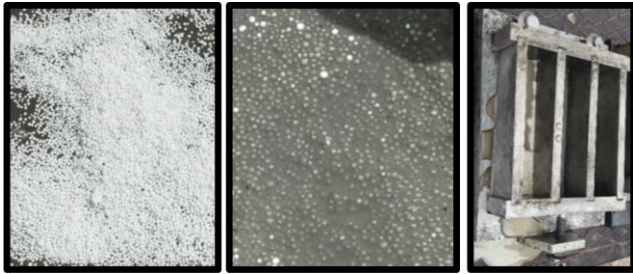
2.2. Metot

Çalışma kapsamında su-çimento oranı 0.4 ve 0.5 olacak şekilde, agrega-çimento oranı 1 ve 2 olacak şekilde 4 farklı karışım hazırlanmıştır. Agrega olarak EPS granüller kullanılmıştır. Su-çimento oranı ağırlıkça, agrega-çimento oranı ise hacimce dikkate alınmıştır. Karışım oranları Tablo 4'te verilmiştir. Üretilen karışımlardan 4x4x16 cm boyutlu prizma kalıplar kullanılarak numuneler alınmıştır. Üretim ve kullanılan kalıplar Şekil 2'de görülmektedir.

Tablo 4

Karışım oranları

1 m ³ için	0.4S/C	0.4S/C	0.5S/C	0.5S/C
ağırlıkça, kg	1A/C	2A/C	1A/C	2A/C
Çimento	400	200	500	250
Su	1000	500	1000	500
EPS	20	20	20	20



Şekil 2. Hafif beton üretimi

Üretimden 24 saat sonra kalıplarından çıkarılan harç numuneleri standart kür koşullarında bekletilmiştir. Numuneler üzerinde Şekil 3'ten de görüldüğü gibi üretimden 7, 28 ve 56 gün sonra ASTM C 597 standardına uygun olarak ultrases geçiş süresi, su emme, TS EN 196-1 standardına göre eğilme ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her deney en az 3 numune üzerinde gerçekleştirilmiş ve hesaplanan değerlerin ortalaması alınmıştır. Birim ağırlık, ultrases

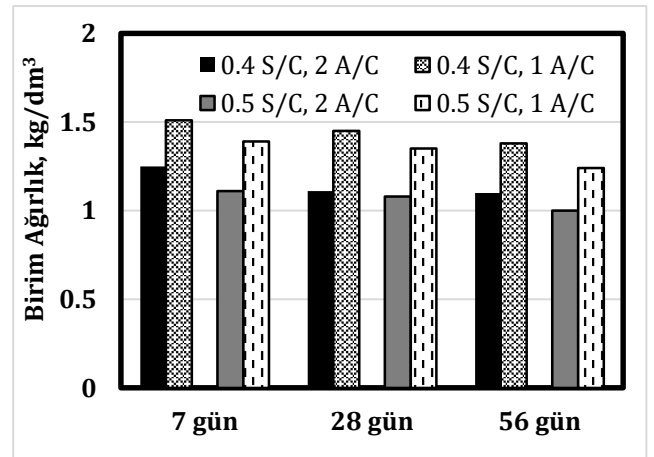
geçiş hızı, ağırlıkça su emme, eğilme ve basınç dayanımları hesaplanmıştır.



Şekil 3. Hafif beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler

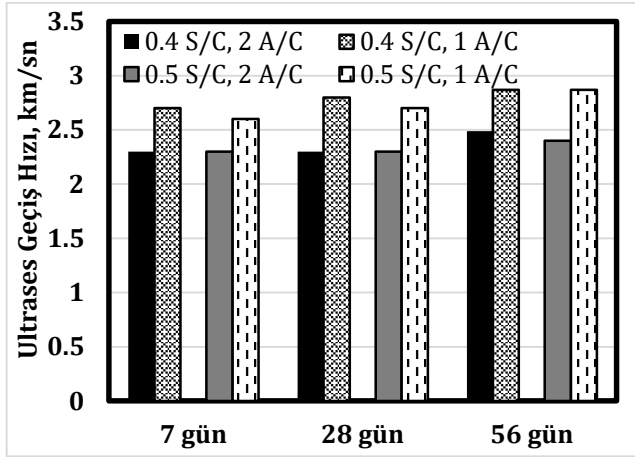
3. Bulgular ve Tartışma

EPS granüller kullanılarak üretilen betonların birim ağırlık değerleri Şekil 4'te görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde birim ağırlık değerlerinin 1-1.5 kg/dm³ arasında değiştiği görülmüştür. EPS granül miktarının 2 katına çıkması ile birim ağırlıklarda % 24'e ulaşan azalmalar görülmüştür. EPS granüllerinin yoğunluklarının diğer bileşenlere göre oldukça düşük olması birim ağırlıklarda düşüğe neden olmuştur. Su-çimento oranı açısından incelendiğinde su-çimento oranının 0.4'ten 0.5'e yükselmesi ile birim ağırlık değerleri % 10'a ulaşan oranda azalmıştır. Su-çimento oranının artması ile karışıma giren fazla su birim ağırlıkta düşüğe neden olmuştur. Serleşmiş betonda zamanla meydana gelen su kaybı numunelerin birim ağırlık değerlerini % 10'a ulaşan oranda azalmasına neden olmuştur.

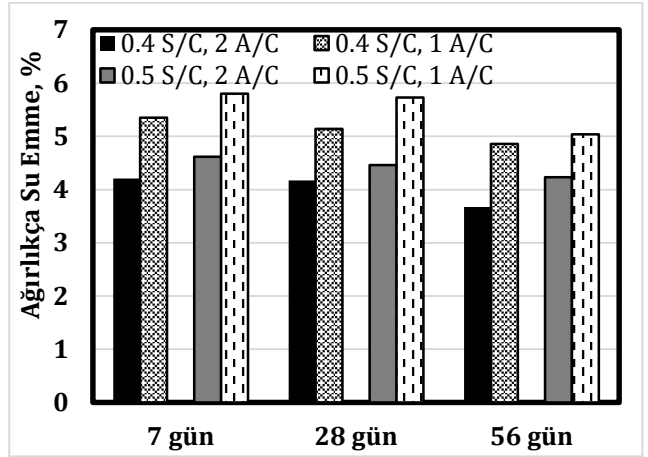


Şekil 4. EPS ile üretilen betonların birim ağırlıkları

Üretilen hafif beton numunelerinin ultrases geçiş hızları Şekil 5'te verilmiştir. Numunelerin ultrases geçiş hızları 2.3-2.9 km/sn arasında değişmiştir.



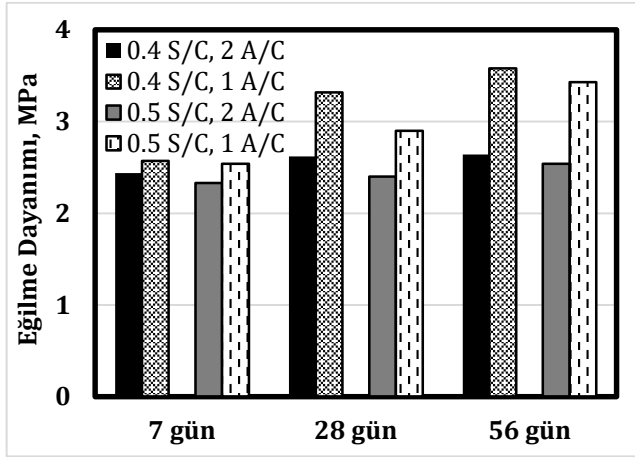
Şekil 5. Hafif betonların ultrases geçiş hızları



Şekil 6. Hafif betonların ağırlıkça su emme oranları

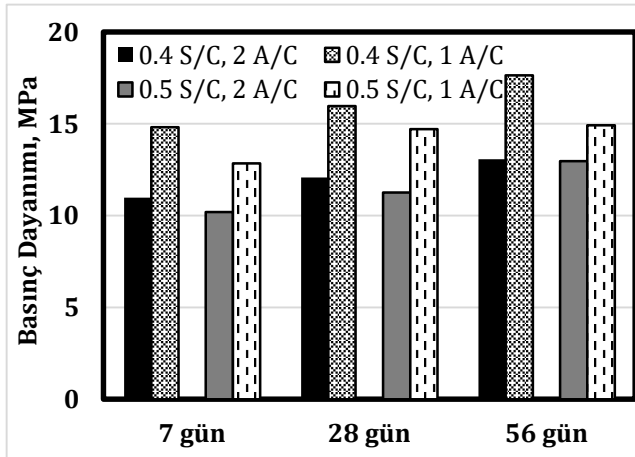
Şekil 5 incelendiğinde EPS granül miktarı iki katına çıktığında numunelerinin ultrases geçiş hızlarında % 15 azalma görülmüştür. Granüllerin genişletilmiş olması nedeni ile içerdiği boşluklar ultrases geçiş sürelerini arttırmaya ve ultrases geçiş hızlarının azalmasına neden olmuştur. Su-çimento oranının artması ile birim hacimde kısmen daha az çimento içermesi numunelerin ultrases geçiş hızlarında % 4'e ulaşan oranda azalmaya neden olmuştur. Zamana bağlı olarak numunelerin ultrases geçiş hızları % 8'e ulaşan oranda artmıştır. Zamanla hidrate tanelerin artması ve sağlam yapıların oluşumu ultrases geçiş sürelerini azaltmış ve dolayısı ile hızların artmasına neden olmuştur. Hafif beton numunelerinin ağırlıkça su emme oranı değişimleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde numunelerin ağırlıkça su emme değerlerinin % 3.7 ile % 5.8 arasında değiştiği görülmüştür. EPS granül miktarının artması ağırlıkça su emme oranlarını % 25'e ulaşan oranda azaltmıştır. Genleştirilmiş polistiren tanelerinin düşük su emmesi ve su geçirimsizliği numunelerinin su emme oranında azalmaya neden olmuştur. Su-çimento oranının artması numunelerin ağırlıkça su emme oranlarında % 15'e ulaşan oranda artışa neden olmuştur. Su-çimento oranının azalması ile agrega tanelerinin daha iyi bağlanması ve daha boşluksuz yapı oluşması su emme oranını düşürmede etkilidir. Zamana bağlı olarak ağırlıkça su emme oranları incelendiğinde zaman içerisinde çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan CSH yapısının artması mikroyapıda doluluğu arttırdığından su emme oranlarını % 13'e ulaşan oranda azaltmıştır.

Agrega-çimento, su-çimento oranına ve numune yaşına bağlı olarak eğilme dayanımlarındaki değişimler Şekil 7'de verilmiştir. Hafif betonların eğilme dayanımları 2.3-3.6 MPa arasında değişmektedir. Şekil 7 incelendiğinde agrega-çimento oranının artması granüle EPS miktarını arttırdığı için numunelerin eğilme dayanımları % 26'ya ulaşan oranda azalmıştır. Agregat olarak kullanılan granüle EPS kolay şekil değiştiren dayanımı oldukça düşük bir malzeme olduğu için eğilme etkisi altındaki kesitin zayıflamasına neden olmuştur. Bu nedenle numunelerin eğilme dayanımları düşmüştür. Bu etki özellikle numune yaşı arttıkça dayanımın artması sonucu belirginleşmiştir. Su-çimento oranının azalması eğilme dayanımlarını % 15'e ulaşan oranda arttırmıştır. Su-çimento oranının artması bağlayıcılığı arttırmış dolayısı ile eğilme uygulanan kesitte granüle EPS tanelerinin daha iyi bağlanmasından dolayı eğilme dayanımları artmıştır. Numune yaşı arttıkça eğilme dayanımları % 39'a ulaşan oranda artmıştır. Granüle EPS taneleri boşluk gibi davrandığı için eğilme dayanımına en büyük katkıyı çimento hamuru fazı sağlamıştır. Dolayısı ile bu fazın dayanımı sağlayan yapıları zaman içerisinde oluştuğu ve oluşmaya devam ettiği için erken yaşlarda dayanım düşük ileriki yaşlarda dayanım fazla olmaktadır. Özellikle 28 günde eğilme dayanımlarında belirgin artış görülürken, 56 günde de azımsanmayacak artış görülmüştür.



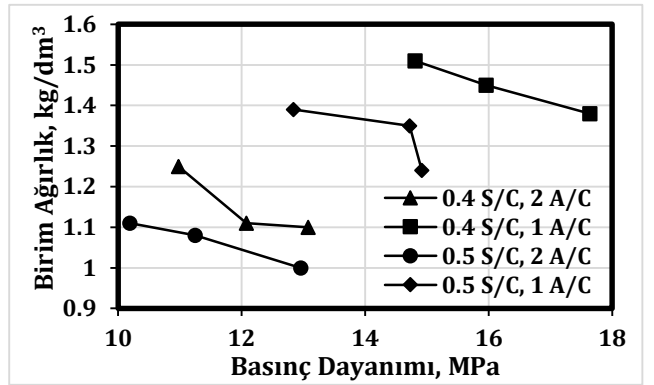
Şekil 7. Hafif betonların eğilme dayanımı sonuçları

Şekil 8'de granüle EPS ile üretilen hafif betonların basınç dayanımı değişimleri verilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde hafif betonların basınç dayanımları 10-18 MPa arasında değiştiği görülmüştür.



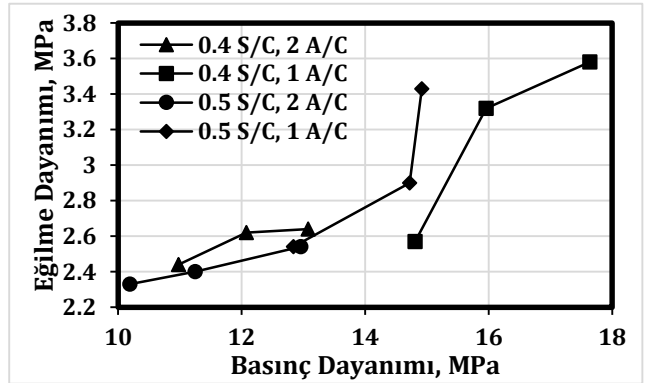
Şekil 8. Hafif betonların basınç dayanımı değişimleri

EPS granül miktarının artması numunelerin basınç dayanımlarında % 26'ya ulaşan oranda azalmaya neden olmuştur. Basınç kuvveti bir alana etkidiği için numune hacmi içerisindeki boşluk gibi davranan EPS granülleri dayanım düşmesinde rol oynamıştır. Su-çimento oranının artışı beklenildiği gibi basınç dayanımlarında azalmaya yol açmıştır. Su-çimento oranında büyük bir artış olmadığı için numunelerin basınç dayanımındaki azalma oranı % 15'i geçmemiştir. Su-çimento oranının artması bağlayıcı miktarını arttırdığı, su miktarını azalttığı için iyi yerleştirilip sıkıştırılmış betonun basınç dayanımında artışa neden olmaktadır. Numune yaşı arttıkça hafif betonların basınç dayanımları % 27'ye ulaşan oranda artmıştır. Çimento hidrasyon reaksiyonlarının zamanla azalarak devam etmesi dayanım artış hızını azaltsa da etkili olmaktadır.



Şekil 9. Basınç dayanımı birim ağırlık ilişkisi

Hafif EPS beton numunelerin basınç dayanımlarının birim ağırlıkla değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde basınç dayanımı arttıkça birim ağırlıklar artmıştır. Birim ağırlıkların ve dayanımın atmosferden öncelikli etken EPS granül miktarının azalması, daha sonra ise su çimento oranının azalmasıdır. Grafikte malzeme oranlarına göre ayrı ayrı belirlenen üçer nokta ise numune yaşına bağlı değişimi vermektedir. Erken yaşlarda dayanım ve ağırlık düşük iken ileri yaşlarda dayanım ve birim ağırlıkta artış gözlemlenmiştir.



Şekil 10. Basınç dayanımı eğilme dayanımı ilişkisi

Numunelerin Eğilme dayanımlarının basınç dayanımlarına bağlı değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10 incelendiğinde EPS granül miktarına bağlı çimento miktarındaki azalma numunelerin eğilme dayanımının basınç dayanımına göre artış oranını azaltmıştır. Ancak çimento miktarının artması eğilme dayanımlarında basınç dayanımlarına göre daha fazla artışa neden olmuştur.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan deneysel çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde:

- Karışımlarda EPS granül miktarının artması sonucu üretilen hafif betonların birim ağırlıkları 1000 kg/m³ değerine kadar düşmüştür. Numunelerin ultrases geçiş hızları da 2300 m/sn değerine kadar düşmüştür. Aynı şekilde EPS granül miktarının artması numunelerin ağırlıkça su emme değeri de düşmüş ve ortalama % 4 olmuştur. Eğilme dayanımları ise 3.5 MPa'dan ortalama 2.5 MPa'ya düşmüştür. Basınç dayanımları ise 17 MPa'dan 10 MPa'ya düşmüştür.
- Su-çimento oranı olarak 0.4 ve 0.5 seçilmiştir. Su-çimento oranının azalması birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, su emme değerlerini arttırmıştır. Su-çimento oranının azalması özellikle hem eğilme hem de basınç dayanımlarında % 15'e ulaşan oranda artışa neden olmuştur.
- Numune yaşı dikkate alındığında yaş artışı birim ağırlıklarda, su emme oranlarında düşüşe neden olurken, ultrases geçiş hızlarında, eğilme ve basınç dayanımlarında artışa neden olmuştur. Numunelerin 7 günlük basınç dayanımları 28 günlük dayanımlarının % 90'ına ulaştığı görülmüştür.

Bu çalışmanın sonunda birim ağırlığı 1000-1500 kg/m³ aralığında basınç dayanımı 10-17 MPa aralığında taşıyıcı hafif betonlar elde edilmiştir. Dayanım artışı istendiğinde su-çimento oranının 0.4'e düşürülerek 15 MPa üstünde basınç dayanımları elde edilebileceği görülmüştür. 10 MPa'nın altına düşmeyen dayanımları bu ürünlerin blok veya panel şeklinde bölme duvar elemanı olarak kullanılabilmesini göstermektedir. Karışım hacminin % 65 gibi yüksek oranda EPS granüllerinin hafif beton üretiminde kullanılması önerilir. Yüksek sıcaklık gibi dayanıklılık özelliklerinin araştırılması yapılacak çalışmalar için önerilir.

Teşekkür

Yazarlar deneysel çalışmalarda desteğinden dolayı Tekn. Sevgin Yılmaz'a teşekkür eder.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Mehmet CANBAZ bilimsel yayın araştırması, malzemelerin temini, numune üretilmesi, makalenin oluşturulması; Mustafa EZİCİ tasarımın yapılması, deneylerin yapılması, deney sonuçlarının analiz edilmesi, makalenin genel kontrolünün yapılması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Allahverdi, A., Azimi, S.A., & Alibabaie M. (2018). Development of multi-strength grade green lightweight reactive powder concrete using expanded polystyrene beads. *Construction and Building Materials*, 172, 457-467. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.260
- Babavalian, A., Ranjbaran, A. H., & Shahbeyk S. (2020). Uniaxial and triaxial failure strength of fiber reinforced EPS concrete. *Construction and Building Materials*, 247, 118617. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118617.
- Babu, K.G., & Babu, D.S. (2003). Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume. *Cement and Concrete Research*, 33, 755-762. doi:10.1016/S0008-8846(02)01055-4.
- Boyuejia Industrial Co., Ltd. (2021). Erişim adresi: <https://www.byjbuilding.com/products/eps-cement-solid-panels/>
- Cadere, C.A., Barbuta, M., Rosca, B., Serbanoiu, A. A., Burlacu, A., & Oancea, I. (2017). Engineering properties of concrete with polystyrene granules. *Procedia Manufacturing*, 22, 288-293. doi:10.1016/j.promfg.2018.03.044
- Chen, B., & Liu, J. (2004). Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber. *Cement and Concrete Research*, 34, 1259-1263. doi:10.1016/j.cemconres.2003.12.014
- Dixit, A., Pang, S.D., Kang, S.H., & Moon, J. (2019). Lightweight structural cement composites with expanded polystyrene (EPS) for enhanced thermal. *Cement and Concrete Composites*, 102, 185-197. doi:10.1016/j.cemconcomp.2019.04.023
- Li, C., Miao, L., You, Q., Hu, S., & Fang, H. (2018). Effects of viscosity modifying admixture on workability and compressive strength of structural EPS concrete. *Construction and Building Materials*, 175, 342-350. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.04.176
- Liu, Y., Ma, D., Jiang, Z., Xiao, F., Huang, X., Liu, Z., & Tang, L. (2016). Dynamic response of expanded polystyrene concrete during low speed impact. *Construction and Building Materials*, 122, 72-80. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.059
- Petrella, A., Mundo R. D., & Notarnicola, M. (2020). Recycled expanded polystyrene as lightweight aggregate for environmentally sustainable cement conglomerates. *Materials*, 13(4), 988. doi: 10.3390/ma13040988
- Ravindrajah, R. S., & Tuck, A.J. (1994). Properties of hardened concrete containing treated expanded polystyrene beads. *Cement & Concrete Composites* 16, 273-277. doi: 10.1016/0958-9465(94)90039-6

- Rosca, B., & Corobceanu, V. (2021). Structural grade concrete containing expanded polystyrene beads with different particle distributions of normal weight aggregate. *Materials Today: Proceedings*, 42, 548-554. doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.517
- Schackow, A., Eftting, C., Folgueras, M.V., Güths, S., & Mendes, G.A. (2014). Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. *Construction and building materials*, 57, 190-197. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.02.009
- Tamut, T., Prabhu, R., Venkataramana, K., & Yaragal, S. C. (2014). Partial replacement of coarse aggregates by expanded polystyrene beads in concrete. *International Journal of Research in Engineering and Technology* eISSN: 2319-1163. Erişim Adresi: <http://www.ijret.org>
- Vakhshouri, B., & Nejadi, S. (2018). Review on the mixture design and mechanical properties of the lightweight concrete containing expanded polystyrene beads. *Australian Journal of Structural Engineering*, 19 (1), 1-23. doi: 10.1080/13287982.2017.1353330

COVID-19 VAKA SAYILARININ ÜLKELER BAZINDA KÜRESEL SAĞLIK ENDEKSLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ*

Merve Doğruel ^{1†}, Seniye Ümit Fırat ²

¹ Nişantaşı Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, 34398, İstanbul

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-2299-7182>

² İstanbul Gedik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34953, İstanbul

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-0271-5865>

Anahtar Kelimeler	Öz
<p><i>Covid-19, Küresel Sağlık Güvenlik (KSG) Endeksi, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) Endeksi, Regresyon Analizi, Faktör Analizi</i></p>	<p><i>Tüm dünya, 31.12.2019'da Çin'de ilk vakanın tespiti ile başlayan Covid-19 pandemisi ile mücadele içindedir. Pandemi Ocak 2021 tarihine kadar 85 milyon üzerinde onaylanan vakaya ve 1,8 milyonun üzerinde ölüme neden olmuştur. Çalışmanın araştırma sorusu şöyledir: "Ülkelerin ekonomik, sosyal ve çevresel refahını (sağlık performansı ve sağlık güvenliği de dahil olmak üzere) ölçümleyen küresel endekslerdeki puan ve konumları, pandemiye karşılaştıkları sonuçlar için bir açıklama veya tahmin sağlayabilir mi?" Bir diğer deyişle ülkeler, sağlık alt yapısı açısından belli bir donanımda ise bir pandemiye hazırlıklı mıdır? Bu soruya dayanan amaç doğrultusunda, ülkelerin sağlık alanında potansiyel gücünü, performanslarını ve toplumsal sağlık refahını ölçümleyen ve kıyaslamalı olarak sıralayan iki temel küresel endeks kapsama alınmıştır: Küresel Sağlık Güvenlik (KSG) Endeksi ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) Endeksi. Bu küresel endekslerin, pandeminin etkisini tahminleme için uygun ve yeterli olup olmayacağı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Tahminleme modeli için Doğrusal Regresyon Analizi uygulanmıştır. Literatüre göre seçilen bağımsız değişkenler arasında anlamlı korelasyonlar bulunmuştur. Çoklu doğrusal bağlantı problemi nedeniyle önce Faktör Analizi, Temel Bileşenler (TB) Yöntemi kullanılarak uygulanmıştır. Faktörlerdeki lider değişkenler, bağımsız değişken olarak regresyon modeline alınmıştır. Bu çalışmanın, küresel endekslerin pandemiye hazırlıklı olma durumunu açıklamadaki uygunluğu konusuna ışık tutması beklenmektedir. Araştırma sonuçlarına göre, eksikliği farkedilen göstergelerin ilgili kuruluşlarca endekslere dahil edilmesi ve hesaplamaların yeniden yapılandırılması açılarından da yol gösterici olacaktır.</i></p>

EVALUATION OF COVID-19 CASE NUMBERS WITH GLOBAL HEALTH INDICES BY COUNTRIES

Keywords	Abstract
<p><i>Covid-19, Global Health Security (GHS) Index,</i></p>	<p><i>The whole world is struggling against to the Covid-19 pandemic, since 31.12.2019. Until January 2021, the pandemic has caused over 85 million confirmed cases and over 1.8 million deaths. The research question of the study is as follows: "Could the scores and</i></p>

*Bu araştırma, Yönetim Araştırmaları Derneği ve İstanbul Gedik Üniversitesi'nin işbirliği ile 2-4 Nisan 2021 tarihlerinde çevrimiçi olarak düzenlediği YÖNAR/MU'2021'de sözlü sunum için kabul edilen ve sunulan "Covid-19 Pandemisinin Ülkelerdeki Etkisi Üzerine Küresel Sağlık Göstergeleri İle Bir Tahmin Çalışması" başlıklı bildiri çalışmasından geliştirilerek üretilmiştir.

† Sorumlu yazar; e-posta : merve.dogruel@nisantasi.edu.tr



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/>).

Sustainable Development Goals (SDG's) Index, Regression Analysis, Factor Analysis

positions in global indices measuring the economic, social and environmental well-being of countries (including health performance and health security) provide an explanation or prediction for the pandemic results of them? " In other words, are the countries ready for a pandemic if they are equipped with a certain level of health infrastructure? Based on this question, two main global indices that measure the potential strength, performance, and social health welfare of countries in the field of health and rank them comparatively are included: the Global Health Security (STI) Index and the Sustainable Development Goals (SDG) Index. It was tried to be evaluated whether these global indices would be appropriate and sufficient for predicting the impact of the pandemic. The estimation model was constructed by the Linear Regression Analysis. Firstly, Factor Analysis by Principal Components (PC) method was applied to the data, in order to eliminate the multicollinearity problem. Leading variables in the factors were taken into the regression model as independent variables. This study is expected to shed light on the relevance of global indices in explaining readiness of the countries for pandemic. The results of the research, it will also be a guide for the relevant institutions in adding new indicators and restructuring the calculations.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 13.07.2021

Kabul Tarihi : 10.03.2022

Research Article

Submission Date : 13.07.2021

Accepted Date : 10.03.2022

1. Giriş

Salgın hastalıklar insanlık tarihi boyunca büyük olaylara sebep olmuştur. Veba, HIV/AIDS, İspanyol Gribi, Asya Gribi, Kolera, Tifüs, Ebola, Çiçek tarihteki önemli salgın hastalıklardır. Yakın dönem salgınları ise SARS 2003, İnfluenza A H5N1 (kuş gribi) 2006, İnfluenza A H1N1 (domuz gribi) 2009, MERS 2012, İnfluenza A H7N9 2013, Ebola 2014 ve Zika 2015 olarak sıralanmaktadır. Son olarak ise bir koronavirüs olan Covid-19, İspanyol Gribi sonrasında insanlığın bu kapsam ve büyüklükte karşılaştığı ilk büyük bulaşıcı hastalık salgınıdır. 2021 yılı başında dünya hala, 31.12.2019'da Çin'de ilk vakanın tespiti ile başlayan ve 85 milyon üzerinde onaylanan vaka, 1,8 milyonun üzerinde ölüme neden olan Covid-19 salgını ile mücadele içindedir (Türkiye Bilimler Akademisi [TÜBA], 2020).

İlaç endüstrisi, güneş enerjisi sektörü, turizm, bilgi ve elektronik endüstrisi de dahil olmak üzere çok çeşitli endüstriler ve sektörler Covid-19 pandemisinden etkilenmiştir (Haleem, Javaid ve Vaishya, 2020).

Gedik, Yalçınkaya ve Yalçınkaya (2020) tarafından WOS ve Scopus platformlarında pandemi ile ilgili yapılan yayınların sistematik inceleme ve bibliyometrik analiz yöntemleri ile değerlendirildiği çalışmada, konusal dağılım tabloları verilmiştir. Bu dağılımda, Covid-19 alanında yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunun tıp alanında yoğunlaştığı görülmüştür. Scopus'taki yayınların %77,15'i tıp alanında olup, bu alanı biyokimya, immünoloji ve mikrobiyoloji takip etmektedir. Yayınların %5,1'i ise sosyal bilimler alanındadır. WOS veritabanının da ise, yayınların %73'ü yine tıp alanındadır. Tıp alanındaki en çok çalışma yapılan alan ise genel dahiliye olduğu bulunmuştur. Literatürde tıp dışı alanda ve ülkeler bazında küresel sağlık göstergelerine göre Covid-19 vaka sayılarının araştırma konusu olduğu araştırmaya rastlanılmamıştır.

Pandemiler olağandışı olaylardır ve gerçekleşme olasılığı doğal ortamdaki antropojenik değişikliklerden etkilenmektedir. Pandemiye hazırlıklı olmak için önemli sorumlulukları yerine getirmek gerekir. Ancak çoğu ülkenin bir pandemi riskini yönetme ve risklerini minimize etme kapasitesi sınırlıdır. Pandeminin yayılmasını durdurmak için hem yerel hem de küresel olarak güçlü ve hazırlıklı olmak gerekmektedir. Optimum durumsal farkındalığa ve uygun maliyetli sonuçlara ulaşmak için halk sağlığı kurumları, profesyonel personel, ilgili hükümet yetkilileri ve siyasi liderler tarafından entegre bir yaklaşım gereklidir (Abideen, Mohamad ve Hassan, 2020).

Sürekli evrimleşmesi ve hızla yayılması; yabani, evcil hayvanlarda ve her yerde bulunması; pandemi potansiyeli taşıması gibi zorluklarıyla influenza virüsüyle mücadele etmek için, zamanında ve küresel iş birliği gereklidir. Bu iş birliğinin, pandemik influenza hazırlık çerçevesi kapsamında, Dünya Sağlık Örgütü -

DSÖ (WHO, 2021a) tarafından 1952'den beri Küresel Grip Gözetim ve Müdahale Sistemi (Global Influenza Surveillance and Response System) aracılığıyla başladığı söylenebilir. 2020 yılı itibarıyla bu ağda 100'den fazla ülke bulunmaktadır. Türkiye'de ise pandemi hazırlık ve planlamaları 2004 yılında başlamış, 2006 yılında Başbakanlık Genelgesi olarak yayınlanmıştır (Özlü ve Öztaş, 2020).

Bu endekslerin oluşturulmasında belirlenen göstergelerin takibi ile ülkelerin muhtemel pandemilere karşı daha güçlü olacağı ve risklerin azaltılacağı varsayılmaktadır.

Bu araştırmanın amacı, Covid-19 pandemisinden önce yayınlanan hem akademik hem de küresel dinamikler açısından önemli olan sağlık endekslerinin puanları ile ülkelerin Covid-19 mücadelesindeki durumlarının bir arada değerlendirilmesidir. Bu amaca dayanarak çalışma, "Ülkelerin ekonomik, sosyal, çevresel refahını ve sağlık güvenliğini ölçümleyen küresel endekslerde yer aldığı konum ile pandemiye karşılaştığı sonuçlar için bir açıklama veya tahmin sağlayabilir mi?" sorusuna cevap aramak üzere yazarlar tarafından gerçekleştirilen öncül araştırmadan (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2021a) hareketle yapılandırılmıştır. Çalışma son dönem literatürün ilavesi ışığında revize edilmiş olup; istatistiki analizler genişletilmiş ve derinleştirilmiştir. Bulgular, yorumlar ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenerek, araştırma konusu için yapılabilecek yeni araştırmalara yol gösterecek farklı etmenlere dikkat çekilmiştir.

2. Literatür: Küresel Endeksler

Covid-19 tahminleme modelleri ilgili çalışmalara bakıldığında, Regresyon Analizinin kullanıldığı birkaç çalışmaya ulaşılmıştır. Rath, Tripathy ve Tripathy (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Hindistan ve Hindistan bölgesinin verileri ile Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli kullanılarak, Covid-19 pandemi vakalarının tahminlemesine ilişkin bir model çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada günlük aktif vaka sayısını tahmin etmek için günlük pozitif vaka sayıları, iyileşen hasta sayıları ve ölüm sayıları kullanılmıştır.

Sherman ve diğ. (2021) tarafından Doğrusal Regresyon Analizi, Covid-19 aşısı olma niyeti ile sosyodemografik faktörler, önceki grip aşısı, genel aşı tutumları ve inançları arasındaki ilişkileri araştırmak için kullanılmıştır.

Dağcıoğlu ve Keskin (2020) tarafından yapılan çalışmada ise, 28 Avrupa Birliği ülkesi, Amerika Birleşik Devletleri ve Türkiye'ye ait sosyo-demografik veriler ile Covid-19 verileri arasındaki ilişkiler Spearman korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmaların hiçbirinde, Covid-19 vaka sayılarını açıklamak için küresel değerlemelere ilişkin endeks skorları ve değişkenleri kullanılmadığını görmekteyiz.

Covid-19 ile ilgili genel literatür incelendiğinde, tahminleme metodu açısından, küresel endekslerin ölçümleri ile Covid-19 vaka sayılarını ilişkilendiren (korelasyon çalışması) veya sebep - sonuç modeli (Regresyon Analizi) kuran çalışmalara rastlanmamıştır. Küresel değerlendirmelerin içerdiği göstergelerin bilimsel önemi ve ülkeler arası karşılaştırma imkanı sağlaması nedeniyle literatürün bundan sonraki kısmı küresel endeksler ile devam edecektir.

2.1. Küresel Sağlık Güvenlik Endeksi (The Global Health Security - GHS)

Küresel Sağlık Güvenliği (KSG) Endeksi (Nuclear Threat Initiative [NTI], Johns Hopkins Center for Health Security ve EIU, 2019), ilk kez Ekim 2019 yılında yayınlanmış olup, Uluslararası Sağlık Tüzüğüne taraf devletleri oluşturan 195 ülkede sağlık güvenliği ve ilgili yeteneklerin ilk kapsamlı değerlendirmesi ve karşılaştırmasıdır. KSG Endeksi, Nükleer Tehdit Girişimi ve Johns Hopkins Sağlık Güvenliği Merkezi'nin bir projesi olup, Ekonomist İstihbarat Birimi ile birlikte geliştirilmiştir. Bu kuruluşlar, zamanla KSG Endeksinin ulusal sağlık güvenliğinde ölçülebilir değişiklikleri teşvik edeceğine ve dünyanın her yerinde mevcut en önemli risklerinden birisi olan uluslararası salgınlara ve pandemilere yol açabilecek bulaşıcı hastalık salgınlarını ele almak için endeksin uluslararası yeteneği geliştireceğine inanmaktadır. KSG Endeksinin, uluslararası finansmandaki büyük boşluklar ışığında, büyük sonuçları olan ve küresel olarak felaket niteliğindeki biyolojik olayların artan riskleri karşısında hazırlık için kilit bir kaynak olması amaçlanmaktadır. Artan siyasi istikrarsızlık, kentleşme, iklim değişikliği ve patojenleri yaratmayı ve tasarlamayı daha kolay, daha ucuz ve daha hızlı hale getiren hızlı teknoloji ilerlemeler olarak belirtilen bu riskler, hızla değişen ve birbirine bağlı bir dünya tarafından büyütülmektedir.

Endeks, bir ülkenin salgınları ve pandemileri önleme ve hafifletme kapasitesini değerlendirmek için 6 kategori, 34 gösterge ve 85 alt gösterge şeklinde düzenlenmiş 140 soruyu içermektedir. Bu çerçevede, 13 ülkeden 21 uzmandan oluşan uluslararası bir danışma paneliyle oluşturulmuştur. Endeksin 6 kategorisi aşağıdaki gibidir:

- 1- Önleme: Patojenlerin ortaya çıkmasının ve salınmasının önlenmesi
- 2- Tespit ve Raporlama: Potansiyel uluslararası salgınlar için erken tespit ve raporlama
- 3- Hızlı Cevap: Salgının yayılmasını hafifletme ve hızlı yanıt
- 4- Sağlık Sistemi: Hastaları tedavi etmek ve sağlık çalışanlarını korumak için yeterli ve sağlam sağlık sistemi
- 5- Uluslararası Normlar: Ulusal kapasiteyi geliştirme taahhütleri, boşlukları gidermek için

finansman planları ve küresel normlara bağlı kalarak yüksek sonuç

- 6- Risk Ortamı: Genel risk ortamı ve ülkenin biyolojik tehditlere karşı savunmasızlığı

2019 raporunun genel bulgusu; “ulusal sağlık güvenliği dünya genelinde temelde zayıftır. Hiçbir ülke salgınlara veya pandemilere tam olarak hazırlıklı değildir ve her ülkenin ele alınması gereken önemli boşlukları vardır” olarak belirlenmiştir. Değerlendirilen 195 ülkenin, KSG Endeksi ortalaması 100 üzerinden 40,2'dir. Yüksek geliri ülkelerin ortalaması 51,9'dur ve endeks genel olarak ulusal ve uluslararası salgınlara hazırlığın çok zayıf kaldığını göstermektedir. 2019 raporunda Amerika Birleşik Devletleri 83,5 puanla ilk sırada yer alırken, Ekvator Ginesi 16,2 ile son sırada yer almaktadır.

2.2. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Endeksi (Sustainable Development Goals -SDG's Index)

Net bir sürdürülebilir kalkınma tanımı olmamakla beraber (Holden, Linnerud ve Banister, 2014), akademik literatürde sıklıkla hala kavram, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından ilk kez yapıldığı hali ile (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2020) kabul görmektedir. Ortak Geleceğimiz ya da Brundtland Raporu olarak bilinen bu raporda sürdürülebilir kalkınma tanımı şu şekilde yapılmıştır (WCED, 1987, s.41): “Sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğinden ödün vermeden, bugünün ihtiyaçlarını karşılayan bir gelişmedir”.

Sürdürülebilir kalkınma; ekonomik olarak sürdürülebilir bir sistem olarak ekonomik boyutuyla, sosyal olarak sürdürülebilir bir sistem olarak sosyal boyutuyla ve çevresel olarak sürdürülebilir bir sistem olarak çevre boyutuyla üç temel boyuttan oluşmaktadır ve bu boyutlar eşit öneme sahiptir (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2019a; Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2020).

Çeşitli kabul görmüş yetkin kuruluşlar tarafından, sürdürülebilirlik boyutlarının ve düzeylerinin farklı açılardan değerlendirmesine olanak sağlayan birçok küresel endeks vardır ve bunlardan biri de Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) Endeksidir (Fırat, Yurtsever, İleri ve Kıvılcım, 2017).

2016 yılından beri Bertelsmann Stiftung ve Sürdürülebilir Kalkınma Çözümleri Ağı (SKÇA) - Sustainable Development Solutions Network (SDSN) tarafından yıllık olarak hazırlanan SKA Endeksi ve Gösterge Tablosu Raporu, ülkelerin Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına ulaşmak için konumlarını değerlendiren dünya çapında ilk çalışmadır (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2019b). 2019 raporu ilk kez Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi tarafından

denetlenmiş olup, elde edilen bulgular metodolojinin sağlamlığını doğrulamaktadır (Sachs, Schmidt-Traub, Kroll, Lafortune ve Fuller, 2019a).

SKA Endeksi, kabul edilen 17 SKA açısından ülke performanslarını izlemektedir. 17 amacın tamamı endekste eşit olarak ağırlıklandırılmaktadır. Bir ülkenin konumu en kötü (0) ve en iyi veya hedef sonuç (100) arasındaki puanlar belirlemektedir. Belirli durumlarda, uluslararası kuruluşlar tarafından üretilen göstergeler de dahil olmak üzere, belirli göstergelerin metodolojisi, SKA'larını izlemek için alınan önlemlerin kalitesini küresel düzeyde iyileştirme çabalarına dayalı olarak revize edilmektedir. Bu nedenle SKA Endeksi ve Gösterge Tablolarındaki sonuçlar yıldan yıla farklılaştığı için doğrudan birbirleri ile karşılaştırılması uygun değildir (Sachs ve diğ., 2019a). 2019 raporunda Danimarka 85,2 puanla ilk sırada yer alırken, Orta Afrika Cumhuriyeti 39,1 ile son sırada yer almaktadır.

17 SKA'nın birçoğu dolaylı da olsa sağlık ile ilişkilidir (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2021b) ancak SKA 3 "sağlıklı ve kaliteli yaşamı her yaşta güvence altına almak" temel amacı ile sağlık ile doğrudan ilişkili kabul edilmektedir. 2019 raporunda, SKA-3 (Sağlık ve Kaliteli Yaşam) puanı açısından Norveç 97,8 ile ilk sırada yer alırken, Orta Afrika Cumhuriyeti 17,5 puanıyla son sırada yer almaktadır.

3. Ampirik Çalışma

Çalışmanın temel araştırma sorusu: "Küresel Sağlık Güvenliği açısından; Önleme, Tespit ve raporlama, Hızlı cevap, Sağlık sistemi, Uluslararası normlar, Risk ortamı ve Genel değerlendirme ile SKA-3 endeksi açısından güçlü olan ülkelerde pandemi vakaları daha az mı görülmektedir?"

Bu araştırma sorusuna dayanarak şöyle bir varsayım yapılandırılabilir: Sağlık güvenliği riskleriyle doğrudan ilgili çeşitli konular doğru bir şekilde tahmin edilebilseydi, halk sağlığı ve tıbbi acil durum planları Covid-19 gibi bir salgından önce hazırlanmış olur ve etkinleştirilebilirdi.

Temel araştırma sorusu ve yapılandırılan varsayım çerçevesinde ampirik çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.1. Veriler ve Metodoloji

Araştırmanın literatür bölümünde kısaca bahsedildiği gibi, Covid-19 sayılarının tahmin edilmesi için küresel endekslerin bağımsız değişkenler olarak yer aldığı çalışmalara rastlanmamıştır. Bu nedenle, yine literatüre dayanarak belirlediğimiz KSG ve SKA Endeksi değerlemelerinin ülkeler açısından Covid-19 sayılarının üzerinde nasıl bir ölçümleme sağlayabildiğini ve ilişki

derecelerini belirlemenin literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın temel amacı olan "sağlık endekslerinin skorlarının, ülkelerin Covid-19 ile mücadelesindeki etkisinin değerlendirilmesi" için, Küresel Sağlık Güvenlik (KSG) Endeksi ve SKA Endeksi olmak üzere iki küresel endeksin 2019 raporları ve Dünya Sağlık Örgütü'nün yayınladığı Covid-19 verileri temel alınmıştır.

KSG Endeks raporundan (NTI, Johns Hopkins Center for Health Security ve EIU, 2019); KSG endeksi genel ve literatür tarama bölümünde belirtildiği gibi önleme, tespit ve raporlama, hızlı cevap, sağlık sistemi, uluslararası normlar ve risk ortamı olan temel kategorilerinin skorları analiz çalışmasına dahil edilen 7 değişken olmuştur.

SKA Endeks raporundan (Sachs, Schmidt-Traub, Kroll, Lafortune ve Fuller, 2019b) ise; bulaşıcı hastalıklar ile mücadele amacını da hedef alan Sürdürülebilir Kalkınma Amacı 3 "Sağlık ve Kaliteli Yaşam" skorları analize dahil edilen değişkendir.

Seçilen sağlık endekslerinin Covid-19 mücadelesindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, DSÖ'nün (WHO, 2021b) 1 Ocak 2021'de yayınladığı "milyon nüfus başına Covid-19 vakasının kümülatif toplam değerleri" ise, Covid-19 pandemisini ülkeler bazında temsil etmek üzere belirlenen değişkendir. Bu değişkenin seçilmesindeki temel amaç; Covid-19 pandemisinde, bireysel özelliklerden (kronik rahatsızlıklar, yaş, lokasyon gibi) daha az etkilenen bir veri ile değerlendirme yapabilmektir.

İki küresel endeks raporu ve DSÖ'nün yayınladığı Covid-19 verilerinden seçilen toplam 9 değişken bu çalışmanın veri setini oluşturmak amacı ile ülkeler bazında birleştirilerek harmonize edilmiştir. 2019 raporunda SKA-3 için, 162 ülkeye ait veri bulunmaktadır. Verisi eksik kalan ülkeler için, yazarların "veri madenciliği uygulaması" konulu yayınlanmamış araştırmalarının ön işleme aşamasından yararlanılmıştır (Doğruel Anuşlu ve Fırat, 2021b). "Miss Forest" yöntemi ile eksik veri tahminleme yapılarak veriler tamamlanmıştır. Sonuç olarak, belirlenen 9 değişken için toplamda 195 ülkeyi kapsayan bir veri kümesi oluşturulmuştur.

"Sağlık endekslerinin puanları ile ülkelerin Covid-19 mücadelesindeki durumunun değerlendirilmesi" temel amacı doğrultusunda, Covid-19 değişkeni (milyon nüfus başına kümülatif toplam değer) bağımlı değişken olarak, veri setindeki diğer 8 değişken ise bağımsız değişken olarak tanımlanmıştır. Bu veri kümesi kullanılarak, tahmin modeli geliştirmek için Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon Analizi uygun bulunmuştur.

Bu çalışmada ilk olarak tüm değişkenler için Korelasyon Analizi gerçekleştirilmiştir. Tüm bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken (Covid-19 milyon nüfus başına kümülatif toplam değer) arasındaki Pearson korelasyon

katsayılarının istatistiki olarak anlamlı olduğu ($\alpha = 0,005$ düzeyinde) görülmüştür. Bu durum bir regresyon modeli kurmak için gerekli ve yeterlidir. Ancak sahte bir regresyon denklemi oluşturmaktan kaçınmak için, bağımsız değişkenler arasındaki korelasyonların da test edilmesi gerekir.

Bağımsız değişkenler arasındaki Pearson korelasyon katsayıları incelendiğinde, Tablo 1a ve Tablo 1b'de görüldüğü gibi bu katsayıların oldukça yüksek ve anlamlı olduğu ($\alpha = 0,001$ düzeyinde) tespit edilmiştir.

Tablo 1a
Korelasyon Analizi Sonuçları (Pearson Korelasyon Katsayıları – Çift Taraflı Test)

Değişkenler	KSG_Endeks			
	KSG_Genel_Endeksi	KSG_Endeksi1_Önleme	i2_Tespit_ve_Raporlama	KSG_Endeksi3_Hızlı_Cevap
KSG_Genel_Endeksi	1	,908**	,894**	,867**
KSG_Endeksi1_Önleme	,908**	1	,771**	,746**
KSG_Endeksi2_Tespit_ve_Raporlama	,894**	,771**	1	,703**
KSG_Endeksi3_Hızlı_Cevap	,867**	,746**	,703**	1
KSG_Endeksi4_Sağlık_Sistemi	,911**	,844**	,740**	,782**
KSG_Endeksi5_Uluslararası_Normlar	,733**	,636**	,633**	,606**
KSG_Endeksi6_Risk_Ortamı	,642**	,577**	,426**	,482**
SKA_3_2019	,601**	,581**	,410**	,445**

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tablo 1b
Korelasyon Analizi Sonuçları (Pearson Korelasyon Katsayıları – Çift Taraflı Test)

Değişkenler	KSG_Endeks			
	KSG_Endeksi4_Sağlık_Sistemi	si5_Uluslararası_Normlar	KSG_Endeksi6_Risk_Ortamı	SKA_3_2019
KSG_Genel_Endeksi	,911**	,733**	,642**	,601**
KSG_Endeksi1_Önleme	,844**	,636**	,577**	,581**
KSG_Endeksi2_Tespit_ve_Raporlama	,740**	,633**	,426**	,410**
KSG_Endeksi3_Hızlı_Cevap	,782**	,606**	,482**	,445**
KSG_Endeksi4_Sağlık_Sistemi	1	,583**	,624**	,634**
KSG_Endeksi5_Uluslararası_Normlar	,583**	1	,311**	,244**
KSG_Endeksi6_Risk_Ortamı	,624**	,311**	1	,860**
SKA_3_2019	,634**	,244**	,860**	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Çoklu doğrusal bağlantı problemi ile anlamlı bir Doğrusal Regresyon Modeli oluşturulamayacağı için, bu sorunu ortadan kaldırmak üzere 8 bağımsız değişken ile SPSS Programı aracılığıyla Faktör Analizi (Temel Bileşenler Yöntemi - TBY) uygulanmıştır.

3.2. Faktör Analizi

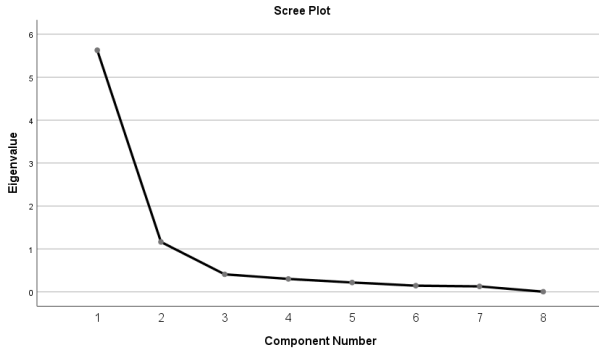
Faktör analizinin temel amacı, mümkünse, birçok değişken arasındaki kovaryans ilişkilerini, faktör adı verilen birkaç temel, ancak gözlemlenemeyen rastgele nicelik cinsinden tanımlamaktır. Faktör Analizi modelinde, belirli bir gruptaki tüm değişkenlerin kendi aralarında yüksek düzeyde korelasyona sahip olduğu, ancak farklı bir gruptaki değişkenlerle nispeten küçük korelasyonlara sahip olduğunu varsayılır (Johnson ve Wichern, 2007).

Faktör Analizinde, parametre tahmininde en bilinen iki yöntem Temel Bileşenler (Principal Component) ve Maksimum Olabilirlik Yöntemidir (Maximum Likelihood Method). Temel Bileşen Analizi, bir dizi değişkenin varyans-kovaryans yapısını bu değişkenlerin birkaç doğrusal kombinasyonu aracılığıyla açıklamakla ilgilendir. Analizin genel amaçları veri boyutunu indirgeme ve yorumlama kolaylığıdır (Johnson ve Wichern, 2007).

Birbirleri ile korelasyon içinde bulunan bağımsız değişkenler ile sahte regresyon denkleminde kaçınmak için, bağımsız değişkenlerin seçilmesi amacı ile bağımsız değişkenler ile Faktör Analizi yapılmış ve parametre tahminleri için Temel Bileşenler yöntemi kullanılmıştır.

İlk olarak, verilerin Faktör Analizine uygunluğunu açıklayabilmek için gerekli testler gerçekleştirilmiştir. Örneklem yeterliliğini test etmek üzere hesaplanan Kaiser-Meyer-Olkin ölçüsü 0,595 ($> 0,5$) ile yeterli bulunmuştur. Bartlett Küresellik Testi'ne göre ise, değişkenler Faktör Analizi için uygundur ($\alpha = 0,000$ düzeyinde) ve anti-image korelasyonlarına (köşegendeki korelasyon değerleri $> 0,5$) göre analizden çıkarılması gereken bir değişken bulunmamaktadır. Bu ön incelemeler doğrultusunda, Faktör Analizi sonuçları ile analize devam edilmesi kararı alınmıştır.

8 bağımsız değişken ile yapılan Faktör Analizi sonucunda, yamaç grafiği (Şekil 1) ve toplam açıklanan varyans tablosu (Şekil 2) incelenerek 2 faktör belirlenmiştir. Kaiser kriteri yani özdeğeri 1'den büyük olan bileşenlerin seçilmesi kuralına göre ilk iki bileşen yeterlidir. Yamaç grafiği de bu duruma paralel bir görsel vermektedir. Şekil 2'de görüldüğü üzere; birinci bileşen tek başına %70,337 açıklanan varyansa sahiptir ve ikinci bileşen ile birlikte kümülatif olarak %84,879 toplam açıklanan varyans sağlamaktadır. Genel kabul görmüş eşik %60-65 civarında bir toplam açıklanan varyansdır; dolayısıyla yapılan Faktör Analizinin açıklayıcılığı son derece yüksektir. Bu nedenle seçilen endekslerin ve göstergelerinin, küresel sağlık değişkenlerini temsil etme bakımından yeterli olduğu belirtilebilir.



Şekil 1. Yamaç Grafiği

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5,627	70,337	70,337	5,627	70,337	70,337	4,257	53,216	53,216
2	1,163	14,542	84,879	1,163	14,542	84,879	2,533	31,663	84,879
3	,410	5,122	90,001						
4	,302	3,779	93,780						
5	,219	2,737	96,518						
6	,145	1,817	98,334						
7	,128	1,604	99,939						
8	,005	,061	100,000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Şekil 2. Toplam Açıklanan Varyans

Elde edilen bu iki faktör, tüm bağımsız değişkenleri yüksek derecede açıklama gücüne sahip olduğu için, Regresyon Analizi'nde bağımsız değişkenler olarak kullanılabilir. Faktörlerin yüklerini daha da iyileştirmek için Varimax rotasyonu uygulanmıştır.

Varimax rotasyonu sonucunda elde edilen bileşenler matrisinde değişkenlerin faktörlerdeki ağırlıkları incelenmiştir. Şekil 3'te görüldüğü üzere, 1. Faktörde; KSG endeksi genel, KSG endeksi tespit ve raporlama, KSG endeksi uluslararası normlar, KSG endeksi hızlı cevap, KSG endeksi önleme, KSG endeksi sağlık sistemi değişkenleri; 2. Faktörde ise SKA-3 ve KSG endeksi risk ortamı baskın değişkenler olarak yer almaktadır.

Araştırmacının amacı, diğer istatistiksel tekniklerle sonraki uygulama için uygun değişkenleri basitçe belirlemekse, araştırmacı faktör matrisini inceleyerek, her bir faktördeki en yüksek faktör yüküne sahip değişkeni, faktördeki diğer değişkenleri temsil eden lider bir (vekil) değişken olarak seçebilir. Bu durum bir açıdan çoklu doğrusal problemine bir çözüm getirir çünkü aynı faktör içindeki değişkenler yüksek derecede çoklu doğrusallık sergilediğinden, bir faktörden bir değişken regresyon denkleminde girdiğinde, aynı faktörden başka bir değişkenin denkleme girme ihtimalinin oldukça düşük olması beklenir (Hair, Black, Babin ve Anderson, 2014). Faktör skorları ile Regresyon Analizi yapıldığında ise, yorumlamada bazı zorluklar oluşmakta ve değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini görmek sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, diğer yaklaşım benimsenmiş ve Doğrusal Regresyon Analizi'nde kullanılmak üzere her bir faktörden lider değişkenlerin seçilmesine karar verilmiştir. Bu lider değişkenler 1. Faktörde en yüksek faktör yüküne sahip

olan KSG endeksi genel ve 2. Faktörde en yüksek faktör yüküne sahip olan SKA-3 değişkenleridir.

Rotated Component Matrix^a

	Component	
	1	2
KSG_Genel_Endeksi	,889	,448
KSG_Endeksi2_Tespit_v e_Raporlama	,863	,232
KSG_Endeksi5_Uluslara rası_Normlar	,843	,017
KSG_Endeksi3_Hızlı_Ce vap	,819	,308
KSG_Endeksi1_Önleme	,804	,446
KSG_Endeksi4_Sağlık_S istemi	,761	,523
SKA_3_2019	,215	,938
KSG_Endeksi6_Risk_Or tamı	,259	,912

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

a. Rotation converged in 3 iterations.

Şekil 3. Varimax Dönüştürülmüş Faktör Matrisi

3.3. Lider Değişkenlerle Regresyon Analizi

Faktör Analizi sonucunda seçilen lider değişkenler olan KSG endeksi genel ve SKA-3 bağımsız değişkenleri ve Covid-19 (milyon nüfus başına kümülatif toplam değer) bağımlı değişkeni ile SPSS Programı aracılığı ile Doğrusal Regresyon Analizi uygulanmıştır. Şekil 4'te görüldüğü gibi elde edilen model anlamlı ($\alpha=0,000$ düzeyinde) olup R^2 değeri 0,355 olarak elde edilmiştir.

Belirlilik katsayısı (R^2) 0,355 olarak çok yüksek bulunmamasına rağmen, istatistiksel olarak anlamlıdır. Covid-19 literatüründe bu alanda çok çalışma olmaması nedeniyle anlamlı bulunan her türlü ilişki belirleme çalışmasının literatüre katkısı değerlidir. Bu nedenle anlamlı bulunan bu modelin de yorumlanması önem arz etmektedir.

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2,661E+10	2	1,330E+10	52,855	,000 ^b
	Residual	4,833E+10	192	251709036,7		
	Total	7,494E+10	194			

a. Dependent Variable: Vaka_Milyon_Nüfus_Başına_Kümülatif_Toplam

b. Predictors: (Constant), SKA_3_2019, KSG_Genel_Endeksi

Şekil 4. Regresyon Denkleminin Değerlendirilmesi (ANOVA Tablosu)

Analize ilişkin tahmin modeli, Denklem (1)'de yer alıp, bu katsayılara Şekil 5'ten ulaşılmıştır.

Şekil 5'ten elde edilen model aşağıdaki gibidir:

$$Y = -28054,969 + 471,058 \text{ SKA}_3 + 254,898 \text{ KSG Endeksi Genel} \quad (1)$$

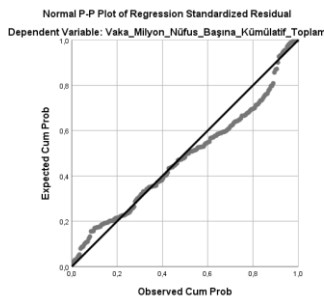
Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-28054,969	4349,960		-6,449	,000
	KSG_GeneI_Endeksi	254,898	98,427	,188	2,590	,010
	SKA_3_2019	471,058	73,694	,464	6,392	,000

a. Dependent Variable: Vaka_Milyon_Nüfus_Başına_Kümülatif_Toplama

Şekil 5. Regresyon Denklemi Katsayıları

Varyans büyüme faktörü (VIF), regresyon katsayısının standart hatası üzerinde diğer bağımsız değişkenlerin etkisini göstermekte olup, tolerans değeri ile doğrudan ilişkilidir. Tolerans, çoklu bağlantının doğrudan bir ölçüsü olup, seçilen bağımsız değişkenin diğer bağımsız değişkenler tarafından açıklanmayan değişkenlik miktarı olarak tanımlanır. Genel olarak kabul edilen çoklu bağlantı seviyeleri (10'luk bir VIF'ye karşılık gelen 0,10'a kadar olan tolerans değerleri) hemen hemen her zaman çoklu bağlantı ile ilgili sorunları gösterir (Hair ve diğ., 2014). Faktör Analizi sonucu, bağımsız değişken olarak seçilen her iki faktördeki lider değişkenler ile elde edilen modelde, tolerans değeri 0,638 ve VIF değeri 1,567 olarak hesaplanmış olduğundan, doğrusal bağlantı probleminin olmadığı bir açıdan daha test edilmiştir.

Modelde kısmi korelasyon katsayılarının anlamlı olduğu ve Şekil 6'da görüldüğü gibi modelin hatalarının normal dağılım varsayımını ihlal etmediği belirlenmiştir.



Şekil 6. Hataların Normallliği

Elde edilen Regresyon Modeli ile ülkeler için tahmin edilen Covid-19 vaka sayıları ve gerçekleşmiş vaka sayıları EK 1'de gösterilmiştir.

EK 1 incelendiğinde, en yüksek Covid-19 vakalarının olduğu alanda (Andorra ile başlayıp Peru'da tamamlanan 40 ülkenin yer aldığı) tahminler gerçekleşen değerlerin altında kaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, en düşük Covid-19 vakalarının olduğu alanda (Kiritati ile başlayıp Tuvalu'da tamamlanan 10 ülkenin yer aldığı) ise tahminlerin gerçekleşen değerlerin üzerinde yer aldığı görülmüştür. Bu farklılaşmalar, doğrudan modelle ilgili olmayıp, ulaşılan verilerin ne kadar gerçeği yansıttığı konusundaki endişeler ile de açıklanabilir. Model geriye kalan 140 ülke için makul seviyelerdeki sapmalarla tahminleme yapmıştır.

4. Bulgular ve İrdeleme

Covid-19 (milyon nüfus başına kümülatif toplam değer) değişkenliğinin %35,5'i KSG endeksi genel ve SKA-3 değişkenleri ile açıklanmaktadır. İki önemli küresel endeksin Covid-19 verilerindeki bu açıklama oranının yüksek olmadığı görülmektedir.

Denklem (1)'deki model incelendiğinde, aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir:

- SKA-3 (Sağlık ve Kaliteli Yaşam) ve KSG Genel Endeksi puanları ile vaka sayısı arasında pozitif ilişki vardır. Yani, endekslerde puanları yüksek olan ülkelerde vaka sayıları da yüksektir.
- SKA-3 'de (Sağlık ve Kaliteli Yaşam) 1 puan yükseliş; ülkenin milyon nüfusunda 471 vakanın daha artması anlamına gelirken,
- KSG Genel Endekste 1 puan yükseliş; ülkenin milyon nüfusunda 255 vakanın daha artması anlamına gelmektedir.

Burada beklenti negatif yönlü ilişki olması şeklindedir. Ancak küresel endeks göstergelerinin yetersiz kaldığı (Baum ve diğ., 2021) ve yine sürdürülebilir kalkınma amaçlarının da revize edilmesi gerektiği konusunda özellikle son birkaç ay içinde çok fazla öneri ve yayın (Springer Nature Limited, 2020) vardır. Bu aşamada farklı yönler ile bulgular üzerinden karşılaştırmalı bir irdeleme yapmak uygun olacaktır.

Küresel çapta oldukça önemli kabul edilen sağlık göstergeleri olan ve Covid-19 pandemisinden önce yayınlanan iki önemli endeks ile 21. yüzyılın en büyük pandemilerinden olan Covid-19 pandemisindeki vaka sayısı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu değerlendirmeyi yapmak için gerçekleştirilen Doğrusal Regresyon Analizi modeli anlamlıdır ancak açıklayıcılık gücü görece olarak zayıf bulunmuştur.

Araştırmada, uygulanan Regresyon Analizinin bulguları üzerinden, temel olarak iki irdeleme sorusu öne çıkmaktadır:

- İrdeleme Sorusu 1; Sosyal ve ekonomik refah seviyesi yüksek olan ülkelerde pandemi daha mı çok görüldü?
- İrdeleme Sorusu 2; Endeks metodları yani hem KSG'de hem de SKA-3'de (ve diğerleri) kullanılan göstergeler pandemi koşullarını açıklamada yetersiz mi kalıyor?

Bu kısımda, yukarıda Regresyon Analizi sonuçlarına göre özetlenen KSG, SKA-3 arasındaki ilişkileri, tek tek bazı ülkeler üzerinden skorlarına göre ve bu irdeleme soruları çerçevesinde incelemek bulguları değerlendirmek açısından daha açıklayıcı olacaktır.

İrdeleme Sorusu 1: Sosyal ve ekonomik refah seviyesi yüksek olan ülkelerde pandemi daha mı çok görüldü?

- ABD, KSG'deki sıralamada ilk sırada ve SKA-3'te ise 89,5 puan ile 33. sırada yer almaktadır. ABD, KSG'de 83,5 puana (100 üzerinden) sahip olmasına rağmen; Covid-19 vaka sayısı bakımından en yüksek 7. sıradaki ülke konumundadır. Bu konuda ilgili yanlış anlamaları ortadan kaldırmanın önemi nedeniyle KSG kurumsal bültenlerinde bazı belirlemelere yer vermektedir (GHS Index News, 2020a):
- ABD, değerlendirilen 195 ülke arasında en yüksek puan ile birinci sırada yer almış olsa da, puanı ve sıralaması, ülkenin potansiyel olarak felaket niteliğindeki bulaşıcı hastalık salgınlarına yanıt vermeye yeterince hazır olduğunu göstermemektedir.
- ABD, yüksek kaliteli laboratuvarları ve bilimsel personeli, Stratejik Ulusal Stok Sahası ve acil durum dağıtım ve iletişim planları nedeniyle GHS Endeksi tarafından birinci sırada yer aldı. Bununla birlikte, Güney Kore ve Tayland gibi benzer kapasitelere sahip diğer üst düzey ülkeler, Covid-19'a yanıt vermede onlardan çok daha etkili bir şekilde yararlanabildiler (GHS Index News, 2020b).
- Tespit kategorisi, Amerika Birleşik Devletleri'nin laboratuvar sistemlerinde, gözetim ve raporlamada, epidemiyoloji iş gücünde ve sektörler arası verileri entegre etmede güçlü kapasitelere sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, GHS Endeksi, ulusal sağlık güvenliği kapasiteleri hakkında kamuya açık bilgilere dayandığından, devlet temelli test etme, uygulama ve ulusal düzeyde raporlama ile ilgili verileri dikkate almamaktadır.

- ABD'de sağlık güvenliğinde önemli boşluklar vardır ve bunlardan bazıları mevcut krizde ortaya çıkmıştır.
- Salgında, tüm nüfusa hizmet edecek güçlü sağlık sistemleri bulunmalıdır ve hükümetin tepkisi konusunda güven aşıl原因an etkili siyasi liderlik çok önemlidir. ABD'nin KSG Endeksinde 6 kategori arasındaki en düşük puanı, hastaları tedavi etmek ve sağlık çalışanlarını korumak için yeterli ve sağlam sağlık sistemi anlamına gelen Sağlık Sistemi kategorisindedir.
- Sağlık Sistemi kategorisinde yer alan, Sağlık Hizmetlerine Erişim konusunda, ABD 195 ülke arasında 175.'dir. Hastalanan işçiler için sağlık hizmetlerine öncelik verme konusunda federal bir taahhüt olmadığı için, tüm vatandaşlar için sağlık hizmetlerine garantili erişim eksikliği, sağlık çalışanları da dahil olmak üzere acil durumlarda pek çok kişiyi savunmasız bırakmaktadır.
- Risk çevresi kategorisinde, her biri hazırlığı etkileyebilecek siyasi ve güvenlik riskleri ve sosyo-ekonomik direnç konusunda ABD, 195 ülke arasında 59. olup, düşük bir sıralamada yer almaktadır.
- Amerika Birleşik Devletleri'nin GHS Endeksi ülke profilindeki önemli boşluklar, sağlık uzmanları ve profesyonellerini derinden etkilemektedir ve hem genel halkı hem de politika yapıcıları ilgilendirmelidir.
- KSG'de son alt iki sırada 16,6 puanla Somali ve 16,2 puanla Ekvator Ginesi yer almaktadır. Milyon başına kümülatif Covid-19 vakası ise Somali'de 296,6 olup, bu değer ile 195 ülke arasından ülke 166. sıradadır. Ekvator Ginesi'nde ise, milyon başına kümülatif Covid-19 vakası 3761,27 olup, bu değer ile 195 ülke arasından ülke 103. sırada bulunmaktadır. Bu veriler ışığında, Küresel Sağlık Güvenliği bakımından en zayıf performansla sahip bu ülkelerin, Covid-19 vaka sayısı bakımından üst sıralarda yer almadığını görebilmekteyiz.

İrdeleme Sorusu 2; Endeks metodları - Hem KSG'de hem de SKA-3'de (ve diğerleri) kullanılan göstergeler pandemi koşullarını açıklamada yetersiz mi kalıyor?

- Küresel Sağlık Güvenliği Endeksi 2019 raporunda, genel olarak dünyanın (ülkeler bazında) pandemiye hazırlıklı olmadığını öngörmüştür. Bununla birlikte, Covid-19'a karmaşık ülke tepkileri ve KSG Endeksi içindeki önyargılar, özellikle belirli ülkeler için tahminlerinin doğruluğunu sınırlamıştır.
- Politik, ekonomik ve sosyal bağlamları ve sivil toplumun rolünü gözden kaçırmak da dahil olmak üzere endeks, ülke tepkilerini tahmin etmekte başarısız bulunmuştur (Baum ve diğ., 2021).

- Pandemiye hazırlıklı olmanın gelecekteki değerlendirmelerinde, kritik sistem bileşenlerine odaklanmayı sağlayan bir sistem yaklaşımı benimseyerek BMJ tarafından yeni bir endeks geliştirilmesine rehberlik edecek ve Covid-19 pandemisinde performansı tahmin edememeyi açıklayabilecek 10 faktör önerilmektedir (Baum ve diğ., 2021).

Bu faktörler şu şekildedir:

- Küreselleşme, coğrafya ve küresel yönetim konusunda sınırlı değerlendirme
- Yüksek gelirli ülkelere önyargı
- Sağlık sistemi kapasitesinin değerlendirilmemesi
- Siyasi liderliğin rolü
- Bağlamın (merkezileşme derecesi, merkezi hükümetler) önemi gözden kaçması
- Öngörü faktörü olarak milli servetin sınırları
- Ülkeler içindeki eşitsizliklerin incelenmemesi
- Sosyal güvenlik hükümlerinin önemi
- Sivil toplum kapasitesi değerlendirilmemesi
- Kapasite ile uygulaması arasındaki fark değerlendirilmemesi
- KSG Endeksi ekibi (GHS Index News, 2020c), Covid-19 gibi bir salgının yayılmasına karşı daha savunmasız olan ülkeleri belirlemek için, küresel uçurum verilerine göre KSG Endeksi içindeki bir göstere alt kümesini analiz etmiştir. Bu model, ülkenin ortaya çıkan bir salgını tespit etme ve buna yanıt verme kapasitesinin yanı sıra, bir ülkenin salgına başlama riskini de göstermektedir. Yetmiş üç ülke, 50'nin altında puana sahip olup ortaya çıkan salgınlara karşı daha savunmasız olarak tanımlanmıştır ve yıllık 1 milyondan fazla yolcu hacmine sahiptir. Çin ve İtalya, sırasıyla 100 üzerinden 48,5 ve 45 puanla bu gruptaki ülkeler arasında en çok hareketliliğe (yolcu sayısı) sahip olan ülkelerdir.
- Mayıs 2020'de yapılan bir çalışmada (Chang ve McAleer, 2020), Covid-19'un risk analizi için farklı teknik ile hesaplamaya dayanan alternatif bir Küresel Sağlık Güvenliği Endeksi önerilmiştir.
- Covid-19 pandemisi ile sürdürülebilirlik konusu gittikçe artan derecede odak alanlardan

biri olmuştur. Birleşmiş Milletler (BM), Covid-19 pandemisi ile SKA'ların ulaşılması daha da güç hale geldiğini doğrulamıştır. Yoksulluğu sona erdirmeye, çevreyi koruma ve 2030 yılına kadar refahı destekleme hedeflerinin çoğu zaten planlananların dışındaydı. Covid-19 pandemisi, az kaydedilen ilerlemeleri dahi durdurmuştur. Hem BM içindeki hem de dışındaki araştırmacılar amaçların pandemi sonrası çağa uygun olup olmadığını sorgulamaktadır. Pandeminin de etkilerinin göz önüne alınarak Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarının revize edilmesine yönelik eleştiriler (Springer Nature Limited, 2020) bulunmaktadır.

5. Sonuç

Sonuç olarak aşağıdaki değerlendirmeler belirtilebilir:

- Covid-19'un yarattığı tehdidin ortasında, Küresel Sağlık Güvenliği Endeksi, pandemi sırasında küresel hazırlık için bir referans olarak defalarca kullanılmıştır.
- Nükleer Tehdit Girişimi, Johns Hopkins Sağlık Güvenliği Merkezi ve Ekonomist İstihbarat Birimi ortak projesi olarak Ekim 2019'da yayınlanan Küresel Sağlık Güvenliği Endeksi raporu, 195 ülkedeki sağlık güvenliği ve ilgili yeteneklerin ilk kapsamlı değerlendirmesi ve kıyaslamasıdır. Bu rapora göre, ulusal sağlık güvenliği dünya çapında temelde zayıftır ve hiçbir ülke bir salgın veya pandemi ile başa çıkmaya tam olarak hazır değildir. Ülkelerin salgınları önleme, tespit etme ve salgınlara yanıt verme yeteneklerinde ciddi zayıflıkları olduğu belirtmiştir.
- Ortalama 2019 KSG Endeksi puanı, olası 100 puan üzerinden 40,2'dir. Değerlendirilen 60 yüksek gelirli ülke arasında bile ortalama puan 51,9'dur.
- KSG Endeksinde medyan değere sahip olan Malta, 98. sıradaki ülke olup genel performans puanı 37,3'tür. Yani değerlendirmedeki ülkelerin yarısı 37,3'ten yüksek bir puan alırken, geriye kalan diğer yarısı da bu puandan düşük bir puan almıştır.
- Gerçekleştirilen ampirik çalışma ve irdelemeler sonucunda; ülkelerin KSG Endeksi ve SKA-3 sıralamalarında ulaştıkları puanlar paralelinde, Covid-19 pandemisinde etkili ve zamanında hareket edemedikleri bulunmuştur.
- Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları 2030 hedeflerine ulaşmak için eleştirilmekte ve çeşitli revizyon çalışmaları yapılması önerilmektedir. Bu yenilemenin yeni faktörler içermesi, özellikle pandemide "bulaştırma" hızını etkileyen; halkın eğitim ve bilinç düzeyi, iç ve dış rotalarda ulaşım yoğunluğu, nüfus

yoğunlukları, pandemi farkındalık çalışmaları vb. gibi sosyal dinamikleri etkileyen değişkenlerin dahil edilmesi zorunlu görünmektedir.

- KSG Endeksi ve SKA-3 Amacı (Sağlık ve Kaliteli Yaşam) için hem göstergelerin hem de hesaplamaların güncellenmesinin, pandemi etkisini tahminlemek ve hazırlıkların yapılmasında daha etkili olacağı düşünülmektedir.
- Bu araştırma özellikle ulaşılabilen verilerin sınırlılığı bakımından halen bir öncül çalışma niteliği taşımaktadır. Devam etmekte olan pandemi sürecinin göz önüne alınarak belli dönem aralıkları ve güncel veriler ile yenilenmesi gereği mevcuttur.
- Literatür bölümünde değinildiği gibi, Covid-19 sayılarının tahmin edilmesi amacıyla küresel endekslerin açıklayıcı değişkenler olarak kullanıldığı makalelere rastlanmamıştır. Bu nedenle, KSG ve SKA Endekslerinin değerlemelerinin ülkeler açısından Covid-19 sayılarının üzerinde nasıl bir ölçümleme sağlayabildiğini ve sebep-sonuç modeli açısından ilişki derecelerini belirlemek bakımından araştırma sonuçlarımızın literatüre katkı sağlayacağı öngörülmektedir.
- Diğer yandan gelecekteki bir pandemiye hazırlıklı olmak bakımından, 2019 Aralık ayı öncesinin verileri ile yapılan küresel değerlendirmelerin göstergeleri pandeminin yayılım şiddetini tahminlemede yetersiz kalmaktadır. Bu noktada farklı "bulaşma" yolları konusundaki birikim ve planlamaların da son derece önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.
- Dünya Sağlık Örgütü (WHO), araştırma ve geliştirme sürecini hızlandırmak, koronavirüs pandemisinin yayılmasını kontrol altına almak ve etkilenenlerin bakımına yardımcı olmak amacıyla yeni normlar ile standartlar geliştirmek için dünyadaki bilim adamlarını ve küresel sağlık profesyonellerini bir araya getirerek çalışmalarına hız vermektedir (WHO, 2021c)

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada Merve Doğruel ve Seniye Ümit Fırat çalışmanın her aşamasında eşit derecede ve işbirlikçi olarak çalışmışlardır. Ancak Merve Doğruel verilerin toplanması, veri tabanının hazırlanması, Seniye Ümit Fırat'ın kontrolünde tüm istatistik analizlerin yazılım aracılığıyla yapılması ve bilgisayar çıktılarının makale için düzenlenmesi konularında daha fazla katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Abideen, A. Z., Mohamad, F. B. & Hassan, M. R. (2020). Mitigation strategies to fight the COVID-19 pandemic-present, future and beyond. *Journal of Health Research*, 34(6), 547-562. doi: <https://doi.org/10.1108/IHR-04-2020-0109>
- Baum, F., Freeman, T., Musolino, C., Abramovitz, M., De Ceukelaire, W., Flavel, J., ... Villar, E. (2021). Explaining covid-19 performance: what factors might predict national responses?. *BMJ*, 372(91), 1-4. doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.n91>
- Chang, C-L. & McAleer, M. (2020). Alternative global health security indexes for risk analysis of COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(9), 3161-3178. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17093161>
- Dağcıoğlu, B. F. ve Keskin, A. (2020). Covid-19 pandemisi sürecinde Türkiye, Avrupa ve Amerika verilerinin karşılaştırılması: Kesitsel bir çalışma. *Ankara Medical Journal*, 20(2), 360-369. doi: <http://doi.org/10.5505/amj.2020.02328>
- Doğruel Anuşlu, M. ve Fırat, S. Ü. (2019a). *Endüstri 4.0 ve sürdürülebilirlik etkileşimi: Küresel endekslerle değerlendirmeler*. E. S. Bayrak Meydanoğlu, M. Klein, ve D. Kurt (Ed.), *Dijital dönüşüm trendleri* (s. 56-100) içinde. Yer: Filiz Kitapevi.
- Doğruel Anuşlu, M. & Fırat, S. Ü. (2019b). Clustering analysis application on Industry 4.0-driven global indexes. *Procedia - Computer Science*, 158, 145-152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.037>
- Doğruel Anuşlu, M. ve Fırat, S. Ü. (2020). Ülkelerin endüstri 4.0 seviyesinin sürdürülebilir kalkınma düzeylerine etkisinin analizi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 31(0), 44-58.
- Doğruel Anuşlu, M. ve Fırat, S. Ü. (2021a). *Covid-19 pandemisinin ülkelerdeki etkisi üzerine küresel sağlık göstergeleri ile bir tahmin çalışması*, YÖNAR/MU Sempozyumu'nda Sunulmuş Bildiri, İstanbul Gedik Üniversitesi, Çevrimiçi.

Doğruel, M. ve Fırat, S. Ü. (2021b). *Sağlık performansı ve güvenliğinin uluslararası göstergelere dayanarak veri madenciliği ile değerlendirilmesi*, Hazırlık aşamasındaki metin.

Fırat, S. Ü., Yurtsever, Ö., İleri, Ç. ve Kıvılcım, İ. (2017). *Sürdürülebilir Bir Dünyaya Doğru: Küresel Gündem ve Türkiye*. İstanbul: İktisadi Kalkınma Vakfı Yayın No: 294. Erişim adresi: https://www.ikv.org.tr/ikv.asp?ust_id=70&id=208

Gedik, K. Z., Yalçınkaya, Ö. ve Yalçınkaya, B. (2020). COVID-19 pandemisinde sistematik inceleme ve bibliyometrik analiz yöntemleri ile kanıta dayalı araştırma süreçlerini yönetme. *Bezmialem Science*, 8(4), 418-427. doi: <http://doi.org/10.14235/bas.galenos.2020.4985>

GHS Index News. (2020a). The U.S. and COVID-19: Leading the world by GHS index score, not by response. Erişim adresi: <https://www.ghsindex.org/news/the-us-and-covid-19-leading-the-world-by-ghs-index-score-not-by-response/>

GHS Index News. (2020b). GHS index experts address U.S. response to COVID-19 in context of GHS index ranking in New JAMA article. Erişim adresi: <https://www.ghsindex.org/news/ghs-index-experts-address-u-s-response-to-covid-19-in-context-of-ghs-index-ranking-in-new-jama-article/>

GHS Index News. (2020c). COVID-19: Identifying the most vulnerable countries using the GHS index and global flight data. Erişim adresi: <https://www.ghsindex.org/news/covid-19-identifying-the-most-vulnerable-countries-using-the-ghs-index-and-global-flight-data/>

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J. & Anderson, R. E. (2014). *Multivariate Data Analysis*. (Ed. 7th). USA: Pearson.

Haleem, A., Javaid, M & Vaishya, R. (2020). Effects of COVID-19 pandemic in daily life [Editöre mektup]. *Current Medicine Research and Practice*, 10, 78-79. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmrp.2020.03.011>

Holden, E., Linnerud, K. & Banister, D. (2014). Sustainable development: Our Common Future revisited. *Global Environmental Change*, 26, 130-139. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.006>

Johnson, R. A. & Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. (Ed. 6th). New Jersey, USA: Pearson Prentice Hall.

Nuclear Threat Initiative (NTI), Johns Hopkins Center for Health Security, The Economist Intelligence Unit (EIU). (2019). *Global health security index: Building collective action and accountability*. Erişim adresi: <https://www.ghsindex.org/wp-content/uploads/2019/10/2019-Global-Health-Security-Index.pdf>

Özlu, A. ve Öztaş, D. (2020). Yeni Corona pandemisi (COVID-19) ile mücadelede geçmişten ders çıkartmak. *Ankara Medical Journal*, 20(2), 468-481. doi: <https://doi.org/10.5505/amj.2020.46547>

Rath, S., Tripathy, A. & Tripathy, A. R. (2020). Prediction of new active cases of coronavirus disease (COVID-19) pandemic using multiple linear regression model. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14(5), 1467-1474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.07.045>

Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G. (2019a). *Sustainable development report 2019*. New York: Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network (SDSN). Erişim adresi: https://s3.amazonaws.com/sustainabledevelopmentreport/2019/2019_sustainable_development_report.pdf

Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G. & Fuller, G. (2019b). *Sustainable Development Report 2019 results*. Erişim adresi: <https://sdgindex.org/reports/sustainable-development-report-2019/>

Sherman, S. M., Smith, L. E., Sim, J., Amlôt, R., Cutts, M., Dasch, H., ... Sevdalis, N. (2021). COVID-19 vaccination intention in the UK: results from the COVID-19 vaccination acceptability study (CoVAccS), a nationally representative cross-sectional survey. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 17(6), 1612-1621. doi: <https://doi.org/10.1080/21645515.2020.1846397>

Springer Nature Limited. (2020). Time to revise the Sustainable Development Goals. *Nature*, 583, 331-332. doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-020-02002-3>

Tüba. (2020). *Covid-19 küresel salgın değerlendirme raporu* (Rapor No. 34). Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları. Erişim adresi: <https://www.tuba.gov.tr/files/images/2020/kovidraporu/Covid-19%20Raporu-Final%2B.pdf>

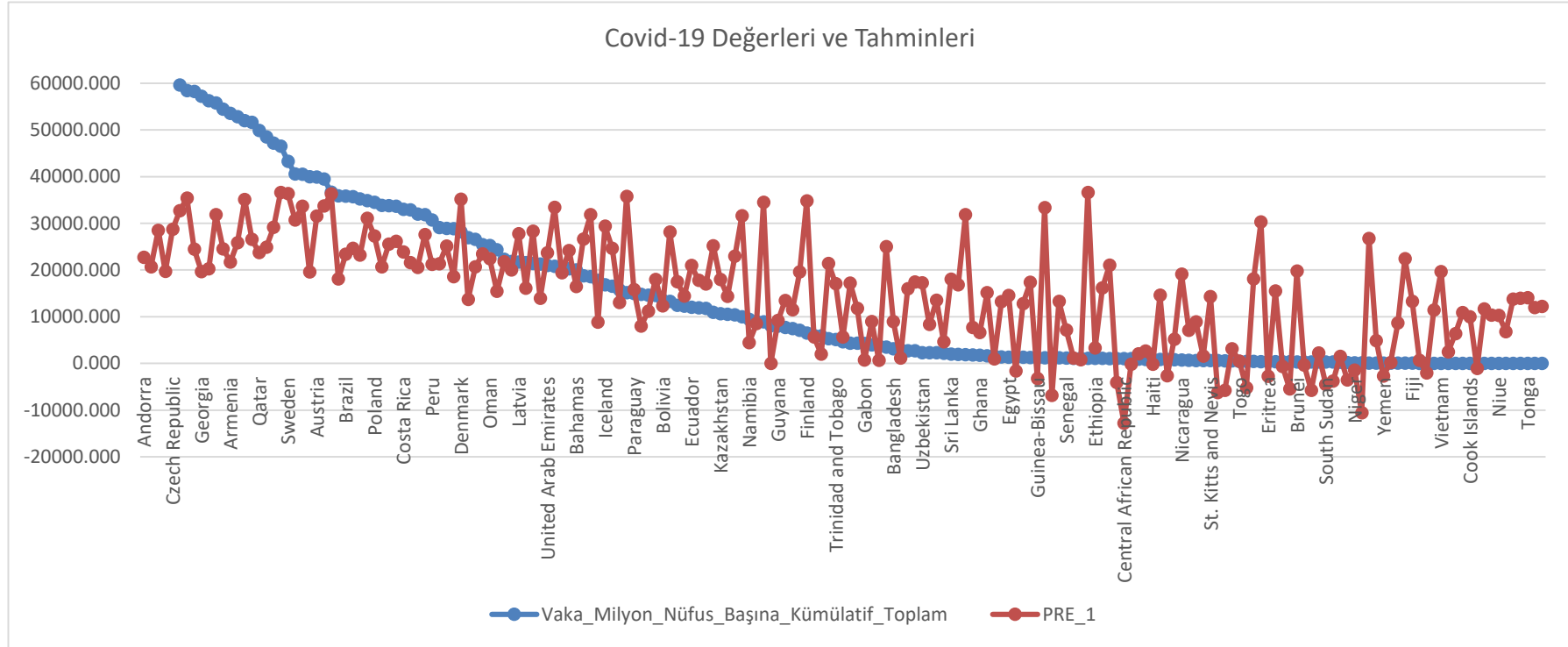
World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our common future*. Erişim adresi: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>

World Health Organization (WHO). (2021a). *Global Influenza Surveillance and Response System (GISRS)*. Erişim adresi: https://www.who.int/influenza/gisrs_laboratory/en/

World Health Organization (WHO). (2021b). *WHO Coronavirus disease (COVID-19) dashboard*. Erişim adresi: <https://covid19.who.int/table>

World Health Organization (WHO). (2021c). *Global research on coronavirus disease (COVID-19)*. Erişim adresi: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/global-research-on-novel-coronavirus-2019-ncov>

EK-1. Covid-19 Sayıları (Milyon Başına Kümülatif Toplam) ve Modelin Tahminleri



OMUZ HASARLI HASTALAR İÇİN COCOMODEL İLE TELEREHABİLİTASYON UYGULAMASISedef KILIÇÇEKEN¹, Burakhan ÇUBUKÇU^{2*}, Uğur YÜZGEÇ³¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Bilecik, Türkiye,ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-1871-5528>² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Bilecik, Türkiye,ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-0480-1254>³ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Bilecik, Türkiye,ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5364-6265>

Anahtar Kelimeler	Öz
Telerehabilitasyon Omuz egzersizi Coco model OpenPose	<i>Dünyada engelli sayısının artmasıyla birlikte fizyoterapiye ihtiyaç duyan insanların sayısı da artmaktadır. Gelişmiş teknolojileri kullanan telerehabilitasyon sistemleri, geleneksel fizyoterapi yöntemlerine göre avantajlara sahiptir. Telerehabilitasyon sayesinde insan iskelet sistemi izlenebilmekte ve hastalara rehabilitasyon yaptırılabilir. Bununla birlikte 3 boyutlu hareket izleme sistemlerinin, Kinect gibi sistemlerin donanım maliyetleri bulunmaktadır. Bu çalışmada herhangi bir kamera ile alınan görüntüler üzerinde OpenPose kütüphanesinden COCO Model kullanılarak 2D olarak insan vücut eklemleri ve eklem koordinatları tespit edilmiştir. Elde edilen eklem bilgileri ile omuz eklemi, kas ve tendon hasarlı hastalar için fizyoterapi uygulaması geliştirilip fizik tedavi merkezlerine gidemeyen hastalara kolaylık sağlanması amaçlanmıştır. Önerilen bu sistemin Kinect, 3D hareket izleme sistemlerine göre avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.</i>

TELEREHABILITATION APPLICATION WITH COCOMODEL FOR PATIENTS WITH SHOULDER DAMAGE

Keywords	Abstract
Telerehabilitation Shoulder exercise Coco model OpenPose	<i>With the increase in the number of disabled people in the world, the number of people who need physiotherapy is also increasing. Telerehabilitation systems using advanced technologies have advantages over traditional physiotherapy methods. Thanks to telerehabilitation, the human skeletal system can be monitored and patients can be rehabilitated. However, systems such as 3D motion tracking systems and Kinect have hardware costs. In this study, human body joints and joint coordinates were determined in 2D using the COCO Model from the OpenPose library on images taken with any camera. With the joint information obtained, it is aimed to develop a physiotherapy application for patients with shoulder joint, muscle and tendon damage and to provide convenience to patients who cannot go to physical therapy centers. The advantages and disadvantages of this proposed system compared to Kinect, 3D motion tracking systems have been evaluated.</i>
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 13.07.2021	Submission Date : 13.07.2021
Kabul Tarihi : 25.02.2022	Accepted Date : 25.02.2022

* Sorumlu yazar; e-posta : burakhan.cubukcu@bilecik.edu.tr

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

Son yıllarda insan fizyolojisi ve hastalığını etkileyen en önemli çevresel değişikliklerden birinin, insan hayatının rutin bir parçası olması gereken fiziksel aktivitenin azalması olduğu gözlemlenmiştir. Fiziksel hareketsizlik ve hareketsiz yaşam tarzı, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet ve kanser dahil olmak üzere birçok hastalık için önemli risk faktörleridir (Spear, Barlow, Ervin, Ludwig ve Saelens, 2007). Çalışmalar göstermektedir ki fiziksel hareketsizlik, tüm ölümlerin altta yatan önemli bir sebebidir (Lee, Hsieh ve Paffenbarger Jr, 1995; Paffenbarger, Hyde, Wing ve Hsieh, 1986). Ölümlerin dışında hastalık temelli rahatsızlıklarda gerekli rehabilitasyonun yapılmaması insan vücudunda kalıcı hasarlara yol açabilmektedir. Birçok hastalığın tamamen iyileşebilmesi fizik tedavinin doğru bir şekilde yapılmasına ve tamamlanmasına bağlıdır. Ancak insanların etkili fizik tedaviye ulaşmasının önünde bazı zorluklar bulunmaktadır.

Fiziksel engelli insanlar fizik tedavi merkezine ya da hastaneye ulaşma konusunda zorluklar yaşamaktadırlar. Bu insanların yakınlarında hastane olsa bile, tüm hastanelerde fizik tedavi kısımlarının ve bazı fizik bölümlerinin uzmanları bulunmamaktadır. Araştırmalar sağlık çalışanlarının yeterli bilgi ve beceri sahibi olmamalarının rehabilitasyon süreci üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu göstermektedir (Roy, Soni ve Dubey, 2013). Bir diğer problem ise hastaların rehabilitasyon boyunca yapması gereken egzersizleri yalnızca %31 oranında doğru yapabilmeleridir. Ayrıca hastaların %65'i egzersizleri doğru yapıp yapamadığı hakkında bir fikir sahibi olamamaktadır. Bu nedenlerden dolayı hastaların tedavi süreci için rehabilitasyon merkezine gitmesine gerek kalmadan egzersizleri doğru bir şekilde gerçekleştirmeleri ve bu egzersizlerin doğruluklarının onaylanması önem arz etmektedir (Duarte, Postolache ve Sharcanski, 2014; Shaughnessy, Resnick ve Macko, 2006; Tino ve Hillis, 2010).

Günümüzde fiziksel engelli insanların bu sorunlarına çözüm olması için kullanılan telerehabilitasyon araçlarının geleneksel tedaviye göre daha ucuz ve erişilebilir olduğu gözlemlenmektedir. Yapılan testlerle önerilen telerehabilitasyon yöntemlerinin avantajları tespit edilmektedir (Milosevic, Leardini ve Farella, 2020). Telerehabilitasyon ile inme gibi ağır hastalık geçirenlerin denge ve motor fonksiyonlarının düzelmesine fayda sağlamak (Xavier-Rocha ve diğerleri, 2020), çocuk felci geçirenlerin yürüyüş analizinde kullanılması (Barreira, Forner-Cordero, Grangeiro ve Moura, 2020) gibi bir çok rehabilitasyon gerektiren hastalıklarda çözümler üretilebilmektedir.

Bu çalışmada Kinect 2 sensörü ve benzer sistemlerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla herhangi bir kamera ile insan iskelet tespiti yapabilen bir sistem önerilmektedir. Önerilen sistem OpenPose

kütüphanesinden COCO Model kullanmaktadır. Kullanılan bu model sayesinde insan üzerinde 17 eklem noktası tespit edilerek insan hareketleri gözlemlenmekte ve bu sayede kullanıcıya egzersiz yaptırılmaktadır. Önerilen bu sistem, omuz eklem tendon hasarlı hastaların yapması gereken abduksiyon egzersizi ile farklı kullanıcılar üzerinde denenmiştir. Çalışmada, bilimsel yazın taranması, insan vücudunu tespit edebilmek için kullanılan yöntem, kullanılan kütüphane, geliştirilen sistemin detayları, tartışma ve sonuç bölümlerine yer verilmektedir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Gelişen teknoloji sayesinde fizik tedavi alanında bu sorunlara farklı çözümler önerilmektedir. Telerehabilitasyon terimi, rehabilitasyon hizmetlerinin internet ve telekomünikasyon ağları aracılığıyla sağlanması olarak tanımlanabilir (Russell, 2007). Araştırmalar, hastaların egzersizlerini evde fizyoterapist olmadan telerehabilitasyon uygulamalarını kullanarak yapabileceklerini göstermiştir (Bidargaddi ve Sarela, 2008). Ek olarak, telerehabilitasyon ile yapılan egzersizler, geleneksel rehabilitasyon yöntemleriyle yapıldığı kadar etkili olmaktadır. Telerehabilitasyon sayesinde; hastalar egzersizleri doğru yaptıklarından emin olmakta ve egzersizleri doğru yapma oranları klasik yöntemlere oranla artmaktadır. Bu sayede hastaların iyileşme oranları artarken iyileşme süreleri kısalmaktadır. Bu doğru ve etkili egzersizler hastaneye gitmeden tekrarlanabilmekte ve hastaların tüm egzersizlerinin verileri kayıt altına alınabilmektedir (Çubukçu ve Çetin, 2016; Müller, Ilg, Giese ve Ludolph, 2017; Rizzo ve Kim, 2005; Weiss, Rand, Katz ve Kizony, 2004).

Microsoft Xbox Kinect sensörü (Kinect 2) iskelet izleme özelliği sayesinde telerehabilitasyon uygulamalarında kullanılmaktadır ve bu alanda geçerlilik, güvenilirliği gösterilmiştir (Çubukçu, Yüzgeç, Zileli ve Zileli, 2020; Sadeghi Esfahlani, Muresan, Sanaei ve Wilson, 2018). Kinect 2 bir çok uygulamada popüler olarak kullanılmakta olup (Han, Shao, Xu ve Shotton, 2013), bu çalışmadaki gibi omuz rehabilitasyonuna yönelik geliştirilmiş bir uygulamada (Çubukçu, Yüzgeç, Zileli ve Zileli, 2018), bu uygulamanın web tabanlı fizyoterapist ile hasta arasında tüm iletişim ihtiyaçlarına cevap verebilecek şekilde bütünleşik olarak geliştirilen başka bir uygulamada da kullanılmıştır (Çubukçu, Yüzgeç, Zileli ve Zileli, 2021). Bir başka çalışmada ise Kinect çapraz bağ sakatlığı yaşayan hastaların rehabilitasyonunda kullanılırken (Dinvar, Çubukcu ve Yüzgeç, 2017), oyun ve sanal gerçeklik tabanlı uygulamalarda da özellikle rehabilitasyon egzersizlerinin sıklığını azaltma amacıyla kullanıldığı görülmektedir (Pedraza-Hueso, Martín-Calzón, Díaz-Pernas ve Martínez-Zarzuela, 2015). Literatürde Kinect'in ilk versiyonu olan Microsoft Xbox 360 (Kinect1) kullanılarak omuz rehabilitasyonuna yönelik yapılan çalışmalar da mevcuttur (Çubukçu ve Yüzgeç,

2017). Tüm bu umut veren çalışmalara rağmen Kinect 2'nin ekstra bir donanım olarak bilgisayara takılmasının gerekmesi, taşınabilirliğinin az olması, en fazla altı kişiye kadar iskelet izleme yapabilmesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Her ne kadar 3 boyutlu izleme sistemlerine göre oldukça uygun maliyeti olsa da rehabilitasyonu herkesin evine taşıyabilecek kadar ucuz bir donanım değildir.

3. Yöntem

Önerilen sistemde, OpenPose kütüphanesinden COCO Model kullanılarak iskelet sistemi üzerindeki kilit eklem noktaları tespiti ve elde edilen eklem kilit noktaları ile omuz egzersizinin doğru bir şekilde takip edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.1. OpenPose Kütüphanesi (COCO Model)

OpenPose ile insan vücudu üzerinde 135 nokta elde edilmektedir. OpenPose farklı açılardan insan vücudunun tüm noktalarının nasıl görüldüğünü tespit edebilme yeteneğine sahiptir (Cao, Simon, Wei ve Sheikh, 2017).

COCO Modeli veri kümesi, insan vücut pozlarının eklem noktalarının tahmininde popüler olarak kullanılan gelişmiş bir modeldir. Veri kümesinde 200.000'den fazla resim üzerinde önemli noktaları belirtilmiş insan örnekleri bulunmaktadır (<https://arvrjourney.com/human-pose-estimation-using-openpose-with-tensorflow-part-2-e78ab9104fc8>, y.y.). Şekil 1'de veri kümesinden bazı örnekler verilmiştir (<http://cocodataset.org/>).

COCO 2018 Keypoint Detection Task



Şekil 1. COCO Model Veri Kümesi

COCO insan pozu kümesi, insan üzerinde 17 farklı eklem noktasını bulabilmektedir. Bu çalışmada önerilen sistemde ise, yeterli bulunduğundan, bu noktaların sadece 13'ü kullanılmıştır. Şekil 2'de COCO Modelin insan iskelet sistemini izlemek için kullandığı 17 nokta ve bu noktaların isimlendirilmeleri verilmektedir

(<https://pdfs.semanticscholar.org/dfad/8f616bd2a05c8cae5f61060f743f966ece85.pdf>).



Şekil 2. COCO Model eklem kilit noktaları

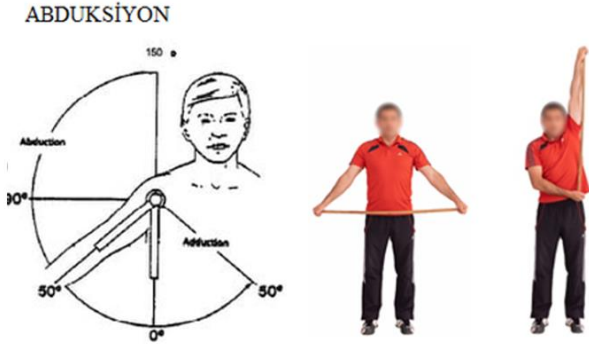
Kinect V2 25 eklem noktasını en fazla 6 kişi üzerinde algılayabilirken, COCO Model gerçek zamanlı görüntülerde sınırsız sayıda insanı algılayabilmekte ve bir insanın üzerinde 17 eklem noktasını tespit edebilmektedir. COCO model sayesinde kalabalık ortamlarda tespit edilebilen insan eklem noktalarına ait örnek görüntüler Şekil 3'de verilmiştir (Cao ve diğ., 2017).



Şekil 3. COCO Model örnek çıktıları

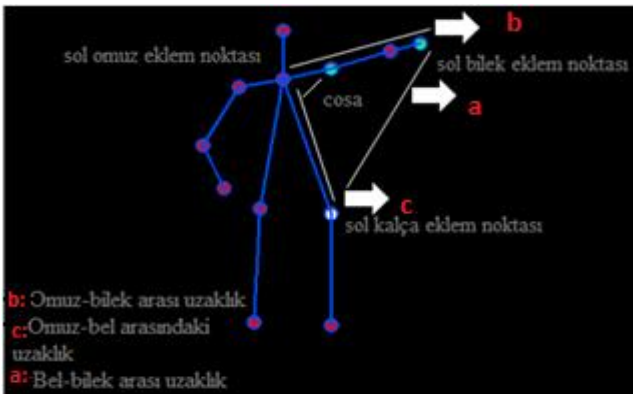
4. Omuz Eklem Tendon Hasarlı Hastalar İçin Telerehabilitasyon Uygulaması

Bu çalışmada, Kinect V2'nin iskelet izleme özelliği örnek alınarak daha uygun maliyetli farklı bir yöntem ile gerçekleştirilip, fizik tedavisinde hareket izleme uygulaması yapılması amaçlanmıştır. Geliştirilen hareket izleme yöntemi ile omuz hasarlı hastalara Şekil 4'de gösterilen abduksiyon egzersizinin yaptırılabilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 4. Uygulamada yapılması istenen hareket

Çalışmada bilgisayar kamerası ya da harici kamera ile alınan görüntüler üzerinde COCO Model yardımıyla insan iskeleti üzerindeki eklem noktalarının konumlarının tespiti yapılmıştır. Elde edilen eklem noktalarının endeks değerleri kullanılarak iskelet çizimi gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistem, alınan gerçek zamanlı görüntüde tek bir kullanıcının olup olmadığını kontrol etmekte ve birden fazla kullanıcı olması durumunda konsol ekranına "lütfen kamera önüne bir kişi geçiniz!" yazdırarak uyarıda bulunmakta ve egzersizleri başlatmamaktadır. Abdüksiyon egzersizinin, hangi omuz için yaptırılacağı sisteme uygulama öncesinde manuel olarak girilmektedir. Yapılan rehabilitasyon egzersizlerinde vücut pozisyonunun doğruluğu oldukça önemlidir (Çubukçu ve diğ., 2021). Egzersizin doğru mu yoksa yanlış mı yapıldığını tespit edebilmek için hem açısal kontrol hem de vücut duruşu için koşul koyulmuştur. Egzersizin efektif yapılması için koşul olarak "gövdenin dik durması ve ellerin vücudun yanında olması" şartı koyulmuştur. Bu koşulların kontrol edilebilmesi için Şekil 5'de gösterilen hasarlı kolun omuz (A), bel (B), bilek (C) noktalarından elde edilen üçgenin oluşturduğu açının hesaplanması gerekmektedir. Bu açının hesaplanması için $A(x_1, y_1)$, $B(x_2, y_2)$ ve $C(x_3, y_3)$ olmak üzere, Eşitlik(1-3) kullanılarak seçilen noktalar arasındaki mesafe ilk olarak bulunmuştur. Sonrasında, açısal değerini elde edebilmek için Eşitlik 4 kullanılarak gerekli açının değeri tespit edilmiştir.



Şekil 5. Abdüksiyon egzersizi için açının hesaplanması

$$|BC| = \sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2 + (z_2 - z_3)^2} \quad (1)$$

$$|AC| = \sqrt{(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2 + (z_1 - z_3)^2} \quad (2)$$

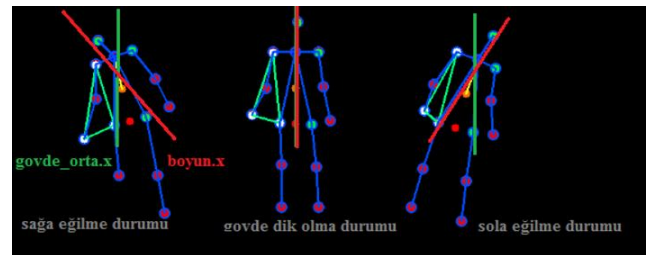
$$|AB| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (3)$$

$$A = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}\right) \quad (4)$$

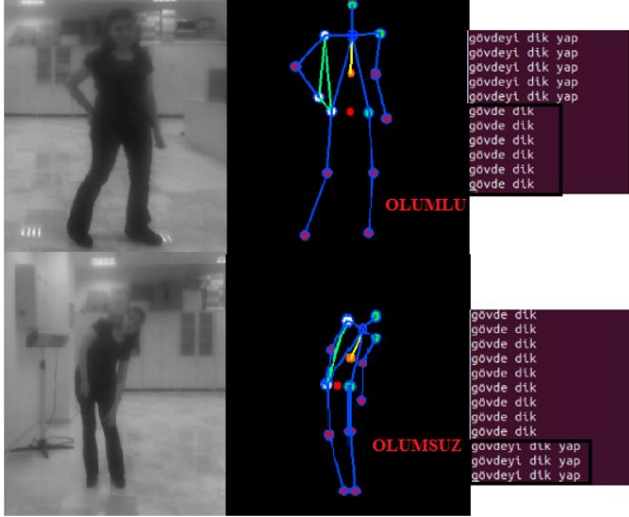
Uygulamada egzersizin tamamen yapılıp yapılmadığı sonucunu görmekten ziyade kullanıcının doğru pozisyonlarda egzersize yanıt vermesi önemlidir. Bu yüzden ilk olarak egzersiz boyunca kullanıcı iskelet sistemini dik pozisyonda tutmalıdır. Dik tutulmayan gövde ile egzersiz esnasında vücut sağa veya sola eğilmesi durumunda yapılan egzersiz faydalı olmayacağından ölçümler sırasında gövdenin dikliği sürekli olarak kontrol edilmektedir. İkinci kontrol ellerin vücudun yanında olup olmasındadır. Bu kontrol ise kullanıcının başlangıç pozisyonuna geldiğini anlamak için yapılmaktadır. Kullanıcı başlangıç pozisyonunda durduğu sürece kayıt yapılmamakta, gereksiz işlemlerden kaçınılmaktadır. Bu bölümün a ve b kısımlarında egzersiz için gerekli bu iki koşulun işleyişi anlatılmaktadır.

4.1. Gövdenin Dik Olması Durumu

Yapılan egzersizlerden en yüksek verimi alabilmek için vücudun tüm egzersiz boyunca doğru pozisyonda olması gerekmektedir. Bunu kontrol edebilmek için önerilen sistemde Şekil 6'da gösterildiği gibi gövdenin dik olup olmadığını gövde orta noktasının x koordinat değeri ile boyun eklem noktasının x koordinat değeri arasındaki fark hesaplanmaktadır. Aradaki fark belirlenen aralıklar dışında olduğu sürece kullanıcının gövdesinin dik olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 7'de verildiği gibi kullanıcının pozisyonu sürekli olarak kontrol edilmekte ve pozisyonunun doğruluğu durumunda konsol ekranına "gövde dik" veya pozisyonun yanlışlığı durumunda konsol ekranına "gövdeyi dik yap" şeklinde uyarılar yazdırılmaktadır.



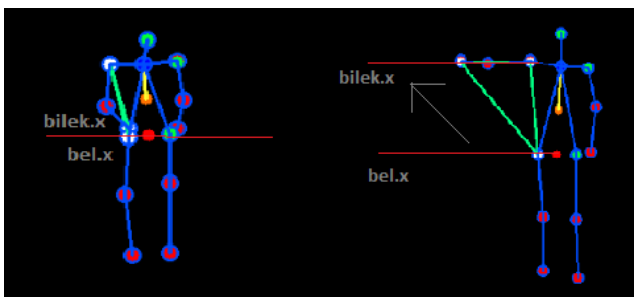
Şekil 6. Gövde dik kontrolü



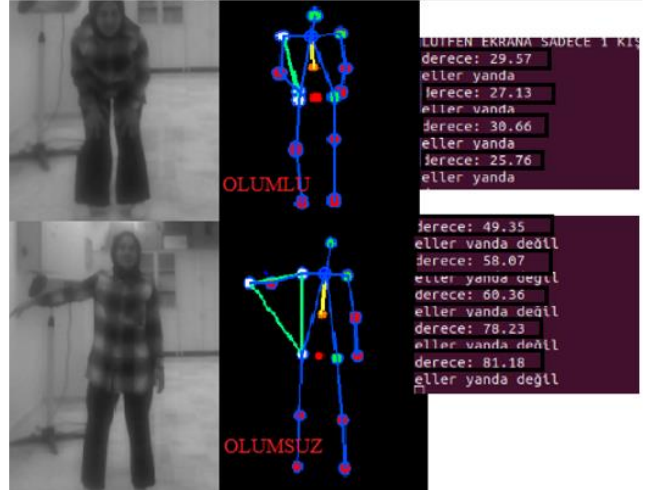
Şekil 7. Kullanım sırasında gövdenin diklik durumu uyarıları

4.2. Ellerin Vücudun Yanında Olması Durumu

İskelet noktaları üzerinde yapılan kontrollerden bir diğeri olan ellerin vücudun yanında olup olmadığını tespit etmek için, ilk olarak hasarlı olan kolun, omuzun ve bileğin oluşturduğu üçgenin omuz açısı hesaplanmaktadır. Aynı zamanda bilek noktasının x koordinat değeri ile bel noktasının x koordinat değerleri arasındaki mesafe artışı da ellerin vücudun yanında olması tespitinde kullanılmıştır. Kullanıcının abduksiyon egzersizi için kolunu hareket ettirip ettirmediğini tespit etmek için ellerin vücudun yanında olup olmadığı kontrol koşulu olarak koyulmuştur. Şekil 8'de eller vücudun yanındayken ve değilken, bu koşulun hesaplanması için kullanılan bilek ve bel noktalarının x koordinatlarının görünümü verilmektedir. Şekil 9'da ise kullanım sırasında pozisyonunun doğruluğu durumunda konsol ekranına "eller yanda" veya pozisyonun yanlışlığı durumunda konsol ekranına "eller yanda değil" şeklinde yazdırılan uyarılar gösterilmektedir.



Şekil 8. Eller vücudun yanında olması durumu (Bilek, bel x koordinatları)

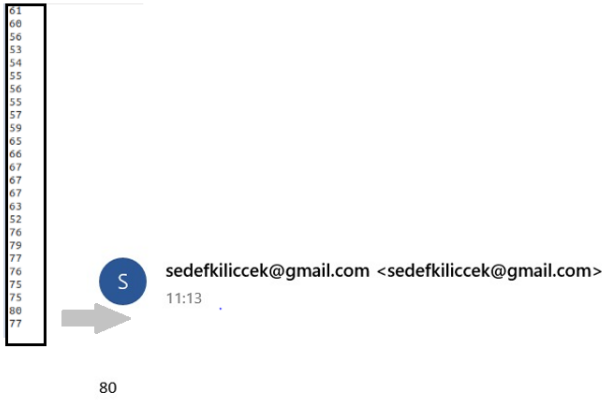


Şekil 9. Ellerin vücudun yanında olması durumu uyarıları

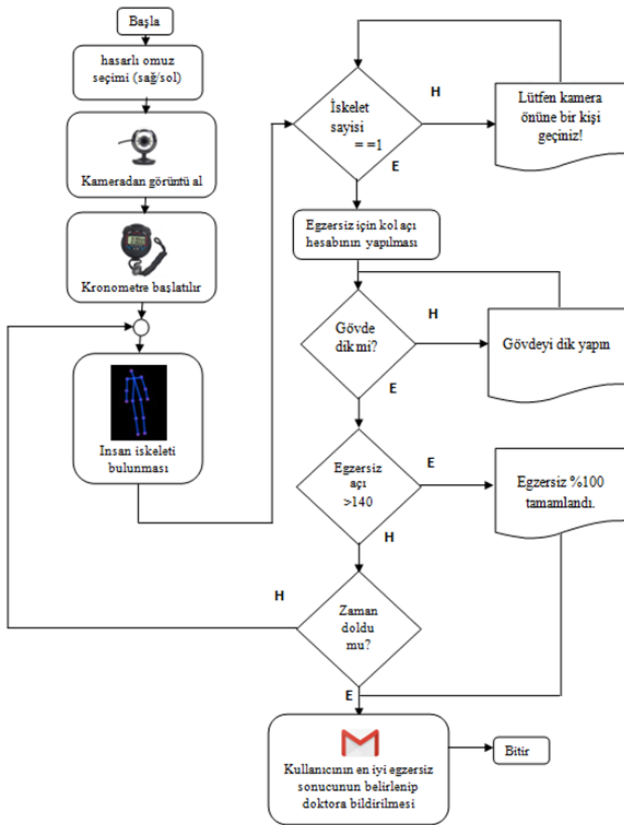
4.3. Abdüksiyon Telerehabilitasyon Yazılımı

Yapılan ön-kontroller yardımı ile egzersiz süresi boyunca kullanıcının doğru pozisyonlarda egzersiz yapabilmesi için hareketleri kısıtlanmaktadır. Bu sayede önerilen sistemle yapılan egzersizin doğru pozisyonunda yapılması sağlanmaktadır.

Önerilen sistemin temel amaçlarından biri omuz hasarlı hastaların egzersizlerini doğru bir şekilde yapmasını sağlamak iken, bir diğeri de yapılan egzersiz bilgilerini fizik tedavi uzmanına iletebilmektir. Sistem sürekli olarak açı ölçümü yapmaktadır. Egzersiz sırasında (abduksiyon egzersizinde kol yukarı kalkarken) ölçülen açı değeri sürekli artmaktadır. Egzersizdeki amaç hastanın yapabildiği en yüksek açının bulunması olduğundan, sistem tarafından Şekil 10'da gösterildiği gibi ölçülen açı değerlerinin en yüksek olan değeri fizik tedavi uzmanına elektronik ortamda iletilmektedir. Böylece sistem hem fizik tedavi uzmanını hastanın durumu hakkında bilgilendirmiş olurken hem de hastanın kontrol edilebilir olmasını sağlamaktadır. Bunun sebebi doktorun kullanıcının egzersizlerdeki olumlu ya da olumsuz ilerleme sürecini daha net görebilmesi ve takip edebilmesini sağlamaktır. Şekil 11'de önerilen sistemin akış diyagramı gösterilmiştir. Akış diyagramından da görüleceği gibi, kullanıcı ilk önce hasarlı omuz seçimi yapmakta, daha sonra kameradan alınan görüntüsünden COCO modeli yardımıyla iskelet sistemi bulunarak, egzersiz için kamera karşısında bir kişi olması kontrolü yapılmaktadır. Egzersiz için seçilen abduksiyon hareketinin yapımı sırasında kol açısının hesabı geliştirilen yazılım ile hesaplanmakta ve egzersiz için gerekli ön koşul kontrolleri yapılmaktadır.



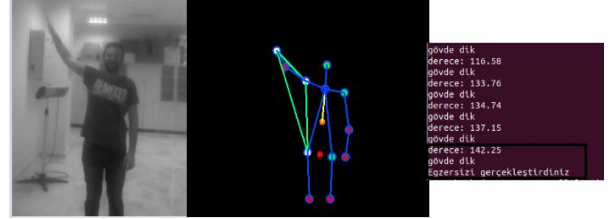
Şekil 10. Kullanıcının yaptığı Abdüksiyon egzersizlerinde elde edilen en yüksek açı değerinin Fizyoterapistte iletilmesi



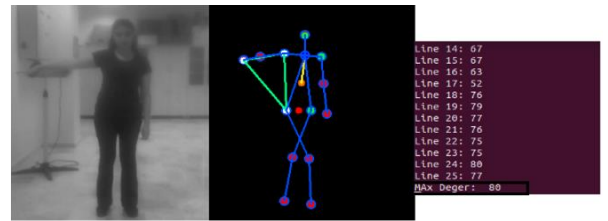
Şekil 11. Telerehabilitasyon sistemi akış diyagramı

Egzersiz için kullanıcıya 25 saniye süre tanınmakta bu süre içerisinde yapılan egzersizin açı değeri her saniye konsol ekranına yazdırılmaktadır. Egzersiz açısının eşik değerini (abdüksiyon egzersizi için 140 derece olarak alınmıştır) geçmesi veya egzersiz yapma süresinin dolması durumunda kullanıcının yapmış olduğu en iyi egzersiz açı değeri eposta yoluyla fizyoterapistte gönderilmektedir. Şekil 12’de verildiği gibi kullanıcı egzersiz esnasında istenen açıya ulaşabilirse egzersizi

tamamlamış kabul edilmektedir. Şekil 13’de gösterildiği gibi kullanıcı egzersizde istenilen eşik seviyesi açısına ulaşamazsa belirlenen süre boyunca egzersiz devam eder ve bu süre boyunca ölçülen en yüksek açı değeri kaydı tutulur.



Şekil 12. Uygulama egzersizi örnek 1



Şekil 13. Uygulama egzersizi örnek 2

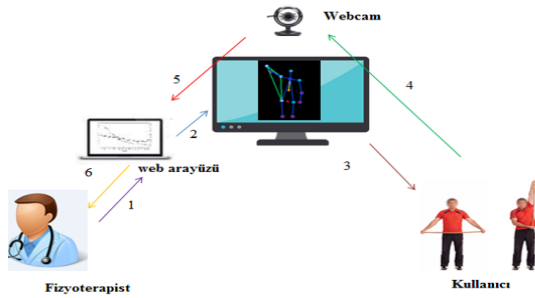
5. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada 3D hareket izleme sistemleri, Kinect V2 gibi donanımlara alternatif olabilecek gerçek zamanlı olarak insan iskelet sistemini tespit ve takibini yapabilen ve elde edilen veriler ile omuz hasarlı hastalar için egzersizleri doğru bir şekilde yaptırabilen bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistemin 2 boyutlu görüntü algılaması bazı hareketlerin algılanmasını zorlaştırmaktadır. Ancak insan iskeletini gerçek zamanlı olarak 2 boyutlu izleyebilen sistemin, sadece dizüstü bilgisayar kamerası kullandığı, başka bir donanıma ihtiyaç duymadığı göz önüne alındığında sonuçlar umut verici olarak değerlendirilmektedir. Gelişen CPU ve GPU donanımları sayesinde önerilen sistemin gün geçtikçe daha efektif kullanılacağı düşünülmektedir.

Önerilen sistemde insan iskelet tespiti için kullanılan yöntem olan COCO Model temelli yöntemin bazı avantaj ve dezavantajları tespit edilmiştir. Önerilen sistemin Kinect v2 ve 3D hareket izleme sistemlerine göre en büyük dezavantajı, eklem noktalarını tespit edip, iskelet sistemini çizdirmesi sırasında birkaç saniyelik gecikmeler yaşanmasıdır. Yaşanan bu gecikme, yapılan egzersizlerin açılal ölçümlerinin de geç yapılması dolayısıyla başarımların tespitinin gecikmesi ve kullanıcının kendini fazladan birkaç saniye zorlaması anlamına gelmektedir. Kinect v2 saniyede 30 görüntü olarak görüntü işlemeyi kendi yapabilen cihaz olmasından dolayı bu tip gecikmeler yaşanmamaktadır. Benzer şekilde 3D hareket izleme sistemlerinde de kullanıcı izlenirken gecikmeler görülmemektedir. Önerilen uygulamanın avantajları ise Kinect tabanlı sistemler gibi

3D hareket izleme sistemlerine daha uygun alternatif olarak önerilen sistemlerden bile çok daha ucuza mal edilmesi, basit bir kamera dışında ek donanım ihtiyacının bulunmaması gösterilebilir. Ek donanım ihtiyacı olmadığı için taşınabilir ve mekândan bağımsız olarak kullanılması da bir diğer avantajı olarak sıralanabilir.

Gelecek çalışmalarda, önerilen sistemde uygulanan egzersiz sayılarının artırılması, doktor ve kullanıcının iletişime geçebileceği bir web uygulaması yapılması hedeflenmektedir. Bu öngörülen çalışmaların gerçekleştirilmesi ile oluşacak sistemin genel blok diyagramı Şekil 14’de gösterilmiştir.



Şekil 14. Genel blok diyagramı

Teşekkür

Bu çalışmanın yapılması sırasında Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarındaki imkanlar Bitirme Çalışması dersi kapsamında kullanılmıştır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Sedef KILIÇÇEKEN, metod araştırması, sistemin geliştirilmesi, makale yazımı; Burakhan ÇUBUKÇU, sistemin geliştirilmesi, makale yazımı; Uğur YÜZGEÇ, sistemin geliştirilmesi, makale yazımı konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Barreira, C. C., Forner-Cordero, A., Grangeiro, P. M. ve Moura, R. T. (2020). Kinect v2 based system for gait assessment of children with cerebral palsy in rehabilitation settings. *Journal of Medical Engineering and Technology*, 44(4), 198–202. doi:10.1080/03091902.2020.1759709
- Bidargaddi, N. P. ve Sarela, A. (2008). Activity and heart rate-based measures for outpatient cardiac rehabilitation. *Methods of Information in Medicine*, 47(3), 208–216. doi:10.3414/ME9112

Cao, Z., Simon, T., Wei, S. E. ve Sheikh, Y. (2017). Realtime multi-person 2D pose estimation using part affinity fields. *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017, 2017-Janua(Xxx)*, 1302–1310. doi:10.1109/CVPR.2017.143

Çubukçu, B. ve Çetin, A. (2016). Ms Kinect Applications And Opportunities For People. *International Multidisciplinary Conference* içinde (ss. 459–465).

Çubukçu, B. ve Yüzgeç, U. (2017). A Physiotherapy Application with MS Kinect for Patients with Shoulder Joint , Muscle and Tendon Damage. *The 9th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN 2017)* içinde (ss. 225–228). Girne, Kıbrıs. doi:10.1109/CICN.2017.49

Çubukçu, B., Yüzgeç, U., Zileli, R. ve Zileli, A. (2020). Reliability and validity analyzes of Kinect V2 based measurement system for shoulder motions. *Medical Engineering and Physics*, 76, 20–31. doi:10.1016/j.medengphy.2019.10.017

Çubukçu, B., Yüzgeç, U., Zileli, R. ve Zileli, A. (2018). A Kinect 2 Based Telerehabilitation Method for Shoulder Rehabilitation Exercises. *International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science (ICATCES'18)* içinde (ss. 53–56).

Çubukçu, B., Yüzgeç, U., Zileli, A. ve Zileli, R. (2021). Kinect-based integrated physiotherapy mentor application for shoulder damage. *Future Generation Computer Systems*, 122, 105–116. doi:10.1016/j.future.2021.04.003

Dinvar, Y., Çubukcu, B. ve Yüzgeç, U. (2017). MS kinect based tracking application for knee anterior cruciate ligament physical therapy. *2nd International Conference on Computer Science and Engineering, UBMK 2017* içinde . doi:10.1109/UBMK.2017.8093485

Duarte, N., Postolache, O. ve Sharcanski, J. (2014). KSGphysio – Kinect Serious Game for Physiotherapy. *International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, (Epe)*, 16–18. doi:10.1109/ICEPE.2014.6969981

Han, J., Shao, L., Xu, D. ve Shotton, J. (2013). Enhanced Computer Vision With Microsoft Kinect Sensor: A Review. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 43(5), 1318–1334. doi:10.1109/TCYB.2013.2265378

<http://cocodataset.org/> Erişim: 11 Eylül 2019

<https://arvrjourney.com/human-pose-estimation-using-openpose-with-tensorflow-part-2-e78ab9104fc8> Erişim: 11 Mayıs 2019

- <https://pdfs.semanticscholar.org/dfad/8f616bd2a05c8cae5f61060f743f966ece85.pdf>. Erişim: 11 Mayıs 2019.
- Lee, I.-M., Hsieh, C. ve Paffenbarger Jr, R. S. (1995). Exercise Intensity and Longevity in Men: The Harvard Alumni Health Study. *JAMA*, 273(15), 1179–1184. doi:10.1001/jama.1995.03520390039030
- Milosevic, B., Leardini, A. ve Farella, E. (2020). Kinect and wearable inertial sensors for motor rehabilitation programs at home: State of the art and an experimental comparison. *BioMedical Engineering Online*, 19(1), 1–26. doi:10.1186/s12938-020-00762-7
- Müller, B., Ilg, W., Giese, M. A. ve Ludolph, N. (2017). Validation of enhanced kinect sensor based motion capturing for gait assessment. *bioRxiv*, 14–16. doi:10.1101/098863
- Paffenbarger, R. S., Hyde, R., Wing, A. L. ve Hsieh, C. (1986). Physical Activity, All-Cause Mortality, and Longevity of College Alumni. *New England Journal of Medicine*, 314(10), 605–613. doi:10.1056/NEJM198603063141003
- Pedraza-Hueso, M., Martín-Calzón, S., Díaz-Pernas, F. J. ve Martínez-Zarzuela, M. (2015). Rehabilitation Using Kinect-based Games and Virtual Reality. *Procedia Computer Science*, 75(Vare), 161–168. doi:10.1016/j.procs.2015.12.233
- Rizzo, A. ve Kim, G. J. (2005). A SWOT analysis of the field of virtual reality rehabilitation and therapy. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 14(2), 119–146. doi:10.1162/1054746053967094
- Roy, A. K., Soni, Y. ve Dubey, S. (2013). Enhancing effectiveness of motor rehabilitation using kinect motion sensing technology. *2013 IEEE Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS)*, 298–304. doi:10.1109/GHTC-SAS.2013.6629934
- Russell, T. G. (2007). Physical rehabilitation using telemedicine. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 13, 217–220. doi:https://doi.org/10.1258/135763307781458886
- Sadeghi Esfahlani, S., Muresan, B., Sanaei, A. ve Wilson, G. (2018). Validity of the Kinect and Myo armband in a serious game for assessing upper limb movement. *Entertainment Computing*, 27, 150–156. doi:https://doi.org/10.1016/j.entcom.2018.05.003
- Shaughnessy, M., Resnick, B. M. ve Macko, R. F. (2006). Testing a model of post-stroke exercise behavior. *Rehabilitation Nursing*, 31(1), 15–21. doi:10.1002/j.2048-7940.2006.tb00005.x
- Spear, B. A., Barlow, S. E., Ervin, C., Ludwig, D. S. ve Saelens, B. E. (2007). Recommendations for Treatment of Child and Adolescent Overweight and Obesity. doi:10.1542/peds.2007-2329F
- Tino, D. ve Hillis, C. (2010). The full can exercise as the recommended exercise for strengthening the supraspinatus while minimizing impingement. *Strength and Conditioning Journal*, 32(5), 33–35. doi:10.1519/SSC.0b013e3181d54721
- Weiss, P. L., Rand, D., Katz, N. ve Kizony, R. (2004). Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 1, 1–12. doi:10.1186/1743-0003-1-12
- Xavier-Rocha, T. B., Carneiro, L., Martins, G. C., Vilela, G. de B., Passos, R. P., Pupe, C. C. B., ... Monteiro, R. S. (2020). The xbox/kinect use in poststroke rehabilitation settings: A systematic review. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 78(7), 361–369. doi:10.1590/0004-282X20200012

ERCİŞ İLÇESİ HASARLI YAPI STOĞUNUN SOKAKTAN TARAMA YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Hakan BİLİCİ^{1*}, Hande GÖKDEMİR², Handan KÜNKÜ³

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-4776-5513>

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-0478-8133>

³ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-9839-640X>

Anahtar Kelimeler	Öz
Erciş, Sokaktan tarama yöntemi, Van depremi, Risk durumu, Bina/yapı stoğu	Ülkemizin hemen hemen tamamı deprem etkisi altında olduğundan günümüze kadar ülkemizde pek çok deprem yaşanmıştır. Bu çalışmada, ülkemizde 23 Ekim 2011 tarihinde 7.2 büyüklüğünde gerçekleşen ve son büyük depremlerden olan Van depreminin Erciş ilçesindeki etkileri incelenmiştir. İlçede Van depreminde hasar gören 310 adet bina incelendiğinde günümüzde 191'inin yıkıldığı, 119'unun ise halen kullanımına devam edildiği görülmüştür. Bu 119 binanın bir kısmının çok az hasar gördüğü, bir kısmının ise taşıyıcı ve/veya taşıyıcı olmayan elemanlarında güçlendirme ve onarım yapılarak kullanımına devam edildiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada 119 adet hafif hasarlı bina için sokaktan tarama yöntemiyle bina/yapı stoğunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. İncelenen 119 betonarme binanın % 1'i yüksek derece riskli, % 18'i orta derece riskli, % 30'u düşük derece riskli ve %51'inin de güvenli yapı grubunda olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmanın deprem sonrası kullanımına devam edilen hafif hasarlı binaların risk durumlarının değerlendirilmesinde ileride yapılacak çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

EVALUATION OF THE DAMAGED BUILDING STOCK IN ERCİS DISTRICT BY VISUAL SCREENING PROCEDURE

Keywords	Abstract
Erciş, Visual screening procedure, Van earthquake, Risk situation, Building stock	Since almost all of Turkey is under the influence of earthquakes, many earthquakes have occurred in Turkey until now. In this study, the effects of the Van earthquake in the Ercis district, which occurred in Turkey on October 23, 2011 (Mw=7.2) and which is one of the last major earthquakes, were examined. When 310 buildings in the district were examined, it was found that 191 of them were destroyed and 119 of them are still in use. It was observed that some of these 119 buildings were slightly damaged, and some of them continued to be used by strengthening and repairing the structural and/or non-structural elements. This study aims to evaluate the building stock for 119 slightly damaged buildings via a visual screening procedure. It was concluded that 1% of the 119 reinforced concrete buildings examined were having high level of risk, 18% having medium level of risk, 30% having low level of risk, and 51% having safe building. This study will contribute to future studies in the evaluation of the earthquake risk status of slightly damaged buildings that continue to be used after the earthquake.

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi

: 09.08.2021

Submission Date

: 09.08.2021

Kabul Tarihi

: 12.11.2021

Accepted Date

: 12.11.2021

* Sorumlu yazar; e-posta : hbilici@ogu.edu.tr



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

Aktif bir deprem ülkesi olan ülkemiz, günümüze kadar pek çok sayıda deprem geçirmiştir (Güler ve Canbaz, 2020). Son 10 yılda ülkemiz ve çevresinde 250.000'den fazla deprem meydana gelmiştir (AFAD, 2021). Kuzey Anadolu Fay Hattı ve Doğu Anadolu Fay Hattı ülkemizin hemen hemen büyük kısmını deprem etkisi altında bırakmaktadır. Depremler ülkemizde çok sayıda can ve mal kaybına sebep olmuştur (Nemutlu, Balun ve Sarı, 2021). Ülkemizde gerçekleşen son büyük depremlerden biri olan Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde oluşan Van-Erciş merkezli ve Van-Edremit merkezli depremlerinde 644 kişi hayatını kaybetmiş, 1966 kişi ise yaralanmıştır (AFAD, 2021). Depremlerin yıkıcı etkilerinin yanı sıra ekonomik açıdan da bakıldığında önemli zararlar ve kayıplar meydana gelmiştir (Nemutlu ve diğ., 2021).

Van-Erciş depremi, 23 Ekim 2011 tarihinde yerel saatle 13:41'de 7.2 büyüklüğünde Tabanlı köyünde meydana gelmiştir. 2011 yılında Tabanlı köyü iken Van ilinin büyükşehir olduğu 2014 yılından sonra Tabanlı, Van ilinin Tuşba ilçesine bağlı bir mahalle olmuştur. Van ilinin Erciş ilçesi depremin merkezine en yakın yerleşim merkezlerinden biri olduğu gibi sismik açıdan da oldukça aktiftir. Aynı zamanda depremde en fazla can ve mal kaybının yaşandığı ilçedir. İlçede deprem esnasında birçok bina tamamen yıkılmış veya ağır yapısal hasarlar görmüştür (Göker ve Karaşın, 2015).

Bu çalışmada, Van depremi sonrasında hasar gören Erciş ilçesindeki 310 adet bina depremden hemen sonraki gün incelenmiş ve aynı binalar için 10 yıl sonraki yani günümüzdeki bina/yapı stok durumlarının sokaktan tarama yöntemi ile incelenmesi amaçlanmıştır. Erciş ilçesinin Yeşilova, Van Yolu, Beyazıt, Latifiye ve Kışla mahalleleri çalışmada ele alınmıştır. Bu mahallelerin zemin durumu için daha önceden temel zemin özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan temel sondaj çalışmalarından genel olarak zemin profilinin, gevşek çakıl, kum ve silt karışımından oluştuğu ve yer altı su seviyesinin (YASS) zemin yüzeyine çok yakın olduğu belirtilmektedir (Özvan, Şengül ve Tapan, 2008).

Aynı mahallelerde yıkılan binaların yıkılma sebepleri depremden hemen sonraki gözlemler sonucunda belirlenmesinin yanı sıra halen kullanılan hafif hasarlı binaların deprem risk durumları sokaktan tarama yöntemi ile incelenmesi amaçlanmıştır. Sokaktan tarama yönteminde binaların yaşı, ayırık veya bitişik nizam durumu, kısa kolon, yumuşak kat, ağır çıkma varlığı, tepe veya yamaç etkisi, çarpışma etkisi ve görünüm kalitesi gibi unsurlar dikkate alınarak incelemeler yapılmıştır.

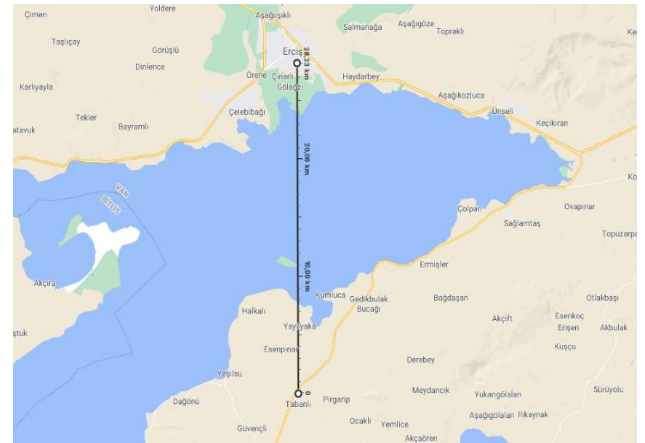
2. Konu Taraması

Depremler, bir ulusun ekonomisine büyük zararlar

verme potansiyeline sahip bir afet olduğundan, deprem sırasında binaların performansının ve riskinin kesin olarak değerlendirilmesi ve olası kayıpların azaltılması gerekmektedir (Öztürk, 2010). Deprem öncesi bina/yapı stoğu önemli olduğu kadar, depremde hasar gören binaların kullanım durumu ve bina/yapı stoğu da önemli olduğu düşünülmektedir. Van Gölü havzası ülkemizin deprem riski açısından önemli bir konumda olduğundan bu bölgede deprem sonrası hasarlı binaların kullanılması, olası herhangi bir depremde daha büyük hasarlara neden olabilir (TMMOB, 2012).

Tektonik olarak aktif olan Van Gölü havzası birçok fay tarafından kontrol edilmektedir ve yer alan bazı faylar ise Van gölü havzasında Gürpınar fayı, Alaköy fayı, Kavakbaşı fayı, Nemrut açılma çatlağı, Tatvan fayı, Van Gölü güney sınır fayı (SBF), Van Gölü kuzey sınır fayı (NBF), Süphan fayı, Ahlat Fayı, Kuzeydoğu Bitlis bindirme fayı, Güneydoğu Bitlis bindirme fayı, Malazgirt fayı, Muş bindirmesi, Çaldıran fayı, Başkale fay kuşağı, Erciş fayı, Van Sismik Boşluğu, Varto fay bölgesidir. Havzada genel olarak 'doğrultu atımlı' ve 'bindirme' faylar yer almaktadır. Oluşan depremler de bu faylara bağlı olarak meydana gelmektedir (Işık, Aydın, Bakış ve Özlük, 2012).

Bölgenin tektonik olarak aktif olması, Erciş ilçesinin kötü zemin özelliklerinin deprem kuvvetini büyütmesi ve depremin merkez üssünün ilçeye kuşucuşu olarak yaklaşık 30 km gibi çok yakın bir mesafede olması depremin binalar üzerinde hasar oranının artmasına yol açmıştır. Depremin merkez üssünün Erciş ilçesine kuşucuşu mesafesi Şekil 1'de sunulmaktadır (Googlemaps, 2021).



Şekil 1. Depremin Merkez Üssünün Erciş İlçesine Kuşucuşu Mesafesi

Bina/yapı stoğunun özellikleri, depremlerin afetlere dönüşmesinde önemli etkenlerden biri olduğu literatürdeki çalışmalardan görülmüştür. Ülkemizde bina/yapı stoğunun özelliklerini incelemek için birçok il

ve ilçede sokaktan tarama yöntemi ile ilgili çalışmalar yapılmış ve sırasıyla verilmiştir. Bilici, Işık ve Özlük (2014), Bitlis ili Adilcevaz ilçesinde, Öztürk (2008), Niğde ili Selçuk ve Yenice ilçelerinde, Güler ve Canbaz (2017), Eskişehir ili Sivrihisar ilçesinde, Işık ve Özlük (2013) Bitlis ili Tatvan ilçesinde, Albayrak, Canbaz ve Albayrak (2014), Eskişehir ilinde, Okuyucu, Savaş, Gedik, Şuşarlıoğlu ve Kara (2018), Erzurum ili Yenişehir ilçesinde bina stoklarını sokaktan tarama yöntemleri ile incelemişlerdir. Bu yöntemle binaların yaş, kat sayısı, yumuşak kat, çarpışma etkisi, topoğrafik etki, binanın görünen kalitesi, kısa kolon, ağır çıkma ve bulunduğu deprem bölgesi faktörleri dikkate alınarak incelenmiştir.

Daha önce yapılan çalışmaların tamamında yerleşim yerlerindeki bina/yapı stokları dikkate alınarak sokaktan tarama yöntemiyle incelenerek risk ve güven derecelerinin belirlenmesi üzerine yapılmıştır. İnceleme sonucunda binalar için çok güvenli, güvenli, düşük riskli, orta derecede riskli ve yüksek derecede riskli olarak 5 farklı risk grubu oluşacak şekilde sınıflandırılması yapılmıştır (Işık ve Özlük, 2013; Bilici ve diğ., 2014; Albayrak ve diğ., 2015; Güler ve Canbaz, 2017; Okuyucu ve diğ., 2018).

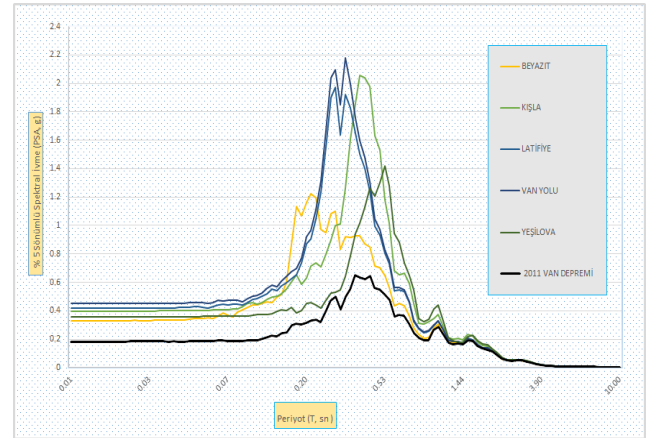
Bu çalışmada depremde hasar görmüş yapıların 10 yıllık süreç sonrasında sokaktan tarama yöntemiyle bina/yapı stoğu durumlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Hasar gören veya güçlendirilen binaların yapı stoklarının belirlenmesinde çok farklı bir yöntem olmadığından değerlendirme yapılırken sokaktan tarama yöntemi tercih edilmiştir.

3. Yöntem

Bu çalışmada Van ili Erciş ilçesinde meydana gelen depremde hasar gören 310 adet binanın hasar durumları, bina yaşı, kat sayısı, yumuşak kat, kısa kolon, ağır çıkma, çarpışma etkisi, tepe yamaç etkisi, yerel zemin etkisi gibi özelliklerinin verileri depremden sonraki gün yazarlar tarafından kayıt edilmiş ve veri toplama formlarına işlenmiştir. Değerlendirilmek üzere bu binalar sokaktan tarama yöntemi ile incelenmiştir. Bu yöntem, birinci kademe yöntemi olarak da ifade edilmektedir (Özçelik ve diğ., 2013). Bu yöntemin tercih edilmesinin sebebi, karmaşık ve ileri düzeyde analize ihtiyaç duyulmadan mevcut binaların güvenli ve hızlı şekilde verilerinin elde edilmesidir (Özkaynak ve Özbay, 2018).

Deprem bölgelerinde bulunan binalar için yerel zemin koşullarına bağlı olarak yapılan analizler büyük önem taşımaktadır. Yüze yakın tabakalarda deprem nedeniyle oluşan binaların dinamik yükler altında analizlerinin yapılması gerekmektedir. Deprem dalgalarının genlik artışı sebebiyle binalarda büyük hasarlar oluşturan zemin büyütmesi bu analizlerin başında gelmektedir (Afacan ve Güler, 2019).

Bu çalışmada Erciş ilçesinin en fazla hasar gören Beyazıt, Kışla, Latifiye, Van Yolu ve Yeşilova mahallelerinde zemin büyütme değerlerinin analizlerinin yapılması için DeepSoil V7 programı kullanılmıştır. Bu beş mahalleden alınan sondaj verilerinden elde edilen zemin kesitleri analiz edilmiş ve elde edilen spektral ivme – periyot grafiği Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. İncelenen Mahallelerin Spektral İvme – Periyot Değerleri Grafiği

Şekil 2’de görüldüğü gibi, 2011 Van depreminde spektral ivme yaklaşık 0.45 s’de pik duruma gelmiştir. Doğrusal olmayan analiz sonucunda pik ivmeler göz önüne alınarak bu mahallelerde yer alan zeminlerin durumlarına bağlı olarak 2011 Van depreminde pik spektral ivme yaklaşık 0.6g iken Van Yolu mahallesinde yaklaşık 2.2g olarak belirlenmiştir. Bu durum depremin spektral ivmesini yaklaşık 4 kat büyüttüğünü göstermektedir.

Mahallelere göre zemin sınıfları, en büyük yer ivme (Peak Ground Acceleration-PGA) değerleri ve maksimum spektral ivme (Peak Spectral Acceleration-PSA) değerleri Tablo 1’de sunulmaktadır.

Tablo 1

Mahallelere Göre Elde Edilen PGA, PSA Değerleri

Mahalle	Zemin Sınıfı	PGA(g)	PSA(g)
Yeşilova	Düşük Plastisiteli Kil (CL)	0.32	1.40
Latifiye	Killi Kum (SC)	0.41	1.95
Van Yolu	Killi Kum (SC)	0.43	2.18
Beyazıt	Siltli Kum (SM)	0.31	1.21
Kışla	Düşük Plastisiteli Kil (CL)	0.34	2.05

İncelenen mahallelerde YASS çok yüksek olduğundan zemin sınıfları yumuşak zemin olarak kabul edilmiş ve bu sonucu Mokhberioskouei (2014)'nin çalışması desteklemektedir.

Bu bölgede, binaların yoğun olarak buldukları alanlardaki zeminler, gevşek özellikteki çakıl, kum ve siltlerin karışımından oluşmaktadır. Depremlerin yıkıcı etkisi bu zeminlerin suya doygun bölgelerinde de artmaktadır. İlçede YASS seviyesi 0,5 metreye kadar düşmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2012).

Hız bölgesine ait puanları hesaplanırken, yapıların depremdeki sarsıntının şiddetine, yapının faya olan uzaklığına ve üzerinde bulunduğu yerel zeminin özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Erciş ilçesinin zemin özelliğinin yumuşak olduğu, maruz kaldığı deprem büyüklüğünün 7.2 ve faya olan uzaklığının 30 km civarında olduğu dikkate alınarak en büyük yer hızının (Peak Ground Velocity-PGV)/en büyük yer ivmesine (PGA) oranının 123 (cm/sn)/g olduğu bulunmuştur (Wald ve diğ., 1999; Campbell ve Bozorgnia, 2008; Güler ve Canbaz, 2020). Hesaplanan PGV değer aralıklarına göre hız bölgesi dereceleri belirlenerek Tablo 2'de bu dereceler verilmiştir.

Tablo 2

PGV Değerlerine Bağlı Olarak Hız Bölgesi Dereceleri (JICA, 2002)

Hız Bölgesi	PGV (cm/s ²)
1. Derece	80 > PGV > 60
2. Derece	60 > PGV > 40
3. Derece	40 > PGV > 20

Bu hız bölgesi derecelerinin kat sayısına bağlı olarak aldığı değerler ise Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3

Betonarme Binalar İçin Kat Sayısına Bağlı Olarak Hız Bölgesi Değerleri (Deprem şurası, 2004; Özcebe, Sucuoğlu, Yucemen, Yakut ve Kubin, 2006)

Kat Sayısı	Hız Bölgesi I	Hız Bölgesi II	Hız Bölgesi III
1-2	100	130	150
3	90	120	140
4	75	100	120
5	65	85	100
6-7	60	80	90

Binaların kat sayısına bağlı olarak hız bölgesi değerlerinden Tablo 4'de verilen betonarme binaların kat sayısına bağlı olarak her bir olumsuzluk parametresi için ve bu parametrelere karşılık gelen değerler

azaltılarak bina deprem puanı (BDP) hesaplanmaktadır (Deprem Şurası, 2004).

Tablo 4

Betonarme binalarda kat sayısına bağlı olarak olumsuzluk parametrelerinin değerleri (Deprem Şurası, 2004; Özdemir, 2015)

Kat Sayısı	Yumuşak Kat	Ağır Çıkma	Bina Görünüm Kalitesi
1-2	0	0	-10
3	-10	-5	-10
4	-15	-10	-10
5	-20	-10	-10
6-7	-20	-10	-10

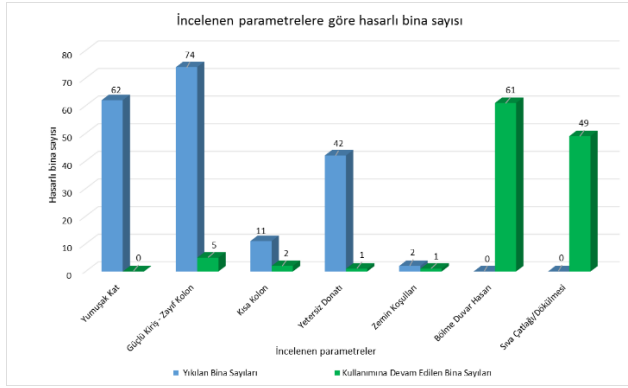
Kat Sayısı	Kısa Kolon	Çarpışma Etkisi	Tepe/Yamaç Etkisi
1-2	-5	0	0
3	-5	-2	0
4	-5	-3	-2
5	-5	-3	-2
6-7	-5	-3	-2

Hesaplanan BDP 30 ve 30'dan küçük ise bina yüksek derece riskli, 30<BDP≤60 ise orta derece riskli, 60<BDP≤100 ise düşük derece riskli ve 100'den büyük ise risk bulunmayıp bina güvenli olarak tanımlanmaktadır (Bilici ve diğ., 2014).

4. Bulgular

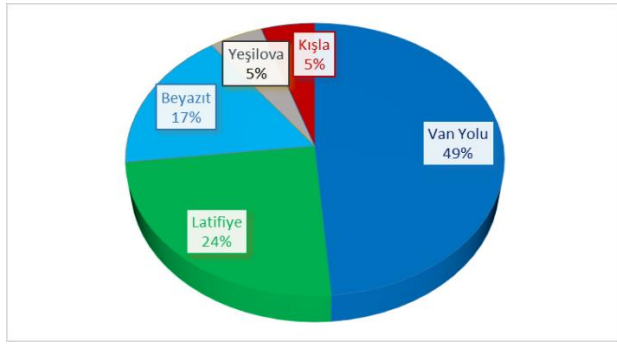
Erciş ilçesinde depremde hasar gören ve çalışmada incelenen 310 adet binanın 191'i kentsel dönüşüm sebebiyle ya da kendiliğinden depremden sonraki süreçte yıkılmıştır. Depremden sonra hasar görüp de deprem sonrası güçlendirme ya da onarım yapılarak bina kullanımları devam eden 119 binanın ise % 96'sı 11 ile 20 yaş arasında ve % 4'ü ise 21 ile 30 yaş arasında olduğu sokaktan tarama yöntemi ile belirlenmiştir.

Sokaktan incelemede binalar için depremin etkilerinden en çok göze çarpan hasar durumları esas alınarak gözlem yapılmıştır. Bilindiği üzere bir binanın yıkılma veya hasar durumları birden fazla nedene bağlıdır. Van depremi sonrası ilçede yıkılan ya da halen kullanımına devam edilen binalarda gözlemlenen deprem etkisi ile oluşan ağırlıklı hasar türlerine göre bina sayıları Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. İncelenen Parametrelere Göre Hasar Gören Binaların Sayıları

Depremde hasar görmesine rağmen halen ayakta kalan 119 betonarme binanın mahallelere göre dağılımları Şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 4. Depremden Sonra Kullanımı Devam Eden Binaların Mahallelere Göre Dağılımları

Bu mahallelerde bulunan binalar için sırasıyla Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'deki veriler kullanılarak BDP hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda incelenen 119 betonarme binanın % 1'i yüksek derece riskli, % 18'i orta derece riskli, % 30'u düşük derece riskli ve %51'inin de güvenli durumda olduğu belirlenmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Yapılan bu çalışmada, ülkemizde büyüklüğü, şiddeti ve sonrasında bıraktığı kalıcı hasarları açısından oldukça önemli Van depreminin, Erciş ilçesindeki 310 adet ağır ve hafif hasarlı bina üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Çalışmada ele alınan hafif hasarlı binalar az da olsa depremden etkilendiği için riskli konumda bulunmaktadır. Bu risk taşıyan hafif hasarlı binaların halen deprem açısından riskli bölgede yer alması sebebi ile deprem risk durumlarının incelenmesi oldukça önemlidir. Hafif hasarlı binaların incelenmesinde hızlı,

ekonomik ve güvenilir olduğu bilinen yöntemlerden olan sokaktan tarama yöntemi bu çalışmada tercih edilmiştir. Sokaktan tarama yöntemi ile inceleme sonucu 310 adet binadan halen kullanımına devam edilen 119 adet binanın % 1'inin yüksek derece riskli, % 18'i orta derece riskli, % 30'u düşük derece riskli ve %51'inin de güvenli durumda olduğu bulunmuştur. 191 adet binanın ise yıkıldığı gözlemlenmiştir. Yıkılan bu binaların büyük bir oranının yaş bakımından oldukça eski olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca bu binaların deprem yönetmeliğine uygun olarak yapılmadığı da gözlemlenmiştir.

Çalışmada 5 farklı mahallede inceleme yapılmış ve en çok deprem riskine maruz kalan mahallenin ise Van Yolu olduğu sokaktan tarama yöntemi ile belirlenmiştir. Van Yolu mahallesinde zeminin spektral ivmesinde yaklaşık 4 kat zemin büyümesi gerçekleşmiştir. Van depreminde en fazla hasar da bu mahallede gözlemlenmiştir. Bu durum, zeminin spektral ivme büyütmelerinin depremin hasarına etkisini bir kez daha göstermektedir. Ayrıca, deprem açısından riskli olan bu mahallelerde yapı ve zemin arasında rezonans oluşabilme ihtimaline de dikkat edilmesi gerekmektedir. İlçede binaların yerleşimi dağınık olduğundan inceleme sonucunda depremden sonra birçoğunun çarpışma etkisi göz önünde bulundurularak ayrıntılı nizamda konumlandırıldığı tespit edilmiştir.

Depremde yumuşak kat hasarı görülen betonarme binaların tamamı, güçlü kiriş - zayıf kolon hasarı görülen betonarme binaların % 94'ü, kısa kolon hasarı görülen betonarme binaların % 85'i, yetersiz donatıdan dolayı hasar gören betonarme binaların % 98'i, olumsuz zemin koşullarından dolayı hasar gören betonarme binaların % 67'si kullanılamaz duruma gelmiş ve depremden sonraki 10 yıllık süreçte yıkılmışlardır. Yıkılan bu binalar yerine çalışmada ele alınan mahallelerde nüfus yoğunluğunun artması ile kentsel dönüşüm çalışmaları yapılmış ve böylece bina/yapı stoğunda bir artış görülmüştür. Bölme duvar hasarı, sıva çatlağı/dökülmesi hasarları veya kılcal çatlaklar görülen hafif hasarlı binaların ise deprem sonrasında halen günümüzde kullanılmaya devam edildiği görülmüştür.

Bu çalışma depreme maruz kalan hafif hasarlı binaların yapı stoğunun herhangi olası bir depremdeki risk durumlarının belirlenmesinde veya güçlendirme kararlarının verilmesinde ilgili kişilere yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Yazar1, çalışmanın tasarımı, bilimsel yayın taraması, spektral ivme-periyot grafiklerinin belirlenmesi, Yazar3, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, Yazar2, istatistiksel analizler, makalenin tartışma ve sonuçları konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Afacan, K. B. ve Güler, E. (2019). Yeni deprem yönetmeliği performansının zemin büyütme analizi ile belirlenmesi, *In International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (5ICEES)*, 8, 11.

AFAD(Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı). (2021). Erişim adresi : <https://deprem.afad.gov.tr/depremdokumanlari>.

Albayrak, U., Canbaz, M. ve Albayrak, G. (2014). A rapid seismic risk assessment method for existing building stock in urban areas, *Procedia engineering*, 118, 1242-1249. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.476>

Bilici H., Işık E. ve Özlük M. H. (2014). Adilcevaz kentsel yapı stoğunun değerlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 1-12. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1161201>

Campbell K.W. ve Bozorgnia Y. (2008). NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10s, *Earthquake Spectra*, 24(1), 139-171. doi: <https://doi.org/10.1193/1.2857546>

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2012). Erciş (Van) 1. etap alanların 1/1.000 ölçekli imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt raporu, *Mekansal Planlama Genel Müdürlüğü Yer Bilimsel Etüt Dairesi Başkanlığı*, 23-48.

Deprem Şurası. (2004). T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (Mülga), Komisyon Raporları, Ankara, 580.

Google Maps, Erişim adresi: www.google.com.tr/maps/.

Göker, Ş. ve Karaşın, A. (2015). Depremde hasar gören kırsal yapılar için bir yapısal hasar değerlendirmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 6(1), 31-38. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/302746>

Güler, E. ve Canbaz, M. (2017). Sivrihisar merkezindeki yapıların deprem riskinin belirlenmesi, *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Eskişehir

Güler, E. ve Canbaz M. (2020). Yapıların deprem riskinin sokak tarama yöntemi ile belirlenmesi: Sivrihisar örneği, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(3), 227-234. doi: <https://doi.org/10.31796/ogummf.736221>

Işık, E., Aydın, M. C., Bakış, A. ve Özlük, M. H. (2012). Bitlis ve Civarındaki Faylar ve Bölgenin Depremselliği, *Bitlis Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 153-169. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitlisfen/issue/3703/49015>

Işık E. ve Özlük M. H. (2013). Tatvan kentsel yapı stoğunun değerlendirilmesi, *International Anatolia Academic Online Journal Sciences Journal*, 1(2), 8-21. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iaaojf/issue/32114/356049>

JICA (Japan International Co-operation Agency and Istanbul Metropolitan Municipality). (2002). The study on a disaster prevention / mitigation basic plan in Istanbul including seismic microzonation in there public of Turkey, *Final Report*, Tokyo-Istanbul.

Mokhberioskouei, L. (2014). *23 Ekim 2011 ve 09 Kasım 2011 tarihli Van depremlerinin kuvvetli yer hareketlerinin, yeni nesil azalım ilişkileri ile karşılaştırılması* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Nemutlu, Ö. F., Balun B. ve Sarı A. (2021). Mevcut Yapıların Depreme Hazırlık Değerlendirmesi: Bingöl İli Örneği. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 3(1), 92-109. doi: <https://doi.org/10.46464/tdad.932452>

Okuyucu, D., Savaş G. K., Gedik B., Şuşarlıoğlu M. F. ve Kara T. (2018). Sokaktan tarama yöntemiyle binaların bölgesel deprem risk dağılımının belirlenmesi: Erzurum-Yenişehir örneği, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1). 219-231. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/433622>

Özcebe, G., Sucuoglu, H., Yucemen, M. S., Yakut, A. ve Kubin, J. (2006). Seismic risk assessment of existing building stock in Istanbul a pilot application in Zeytinburnu district, *Proceedings of 8th US national conference on earthquake engineering*, San Francisco.

Wald D. J., Quatariano V., Heaton T. H., Kanamori H., Scrivner C. W. ve Worden C. B. (1999). Trinet shake maps: rapid generation of peak ground motion and intensity maps for earthquakes in Southern California, *Earthquake Spectra*, 15, 537-555. doi: <https://doi.org/10.1193/1.1586057>

Özçelik, Ö., Mısır, İ. S., Baran, T., Kahraman, S., Saatçi, A. ve Girgin S. C. (2013). Balçova ve Seferihisar ilçelerinde gerçekleştirilen yapı stoku envanter ve deprem güvenliği ön değerlendirmesi projesi sonuçları, *İzmir Kent Sempozyumu*.

Özdemir, M. B. (2015). *Binaların deprem risklerinin birinci kademe değerlendirme yöntemiyle belirlenmesi üzerine bir saha çalışması: Giresun ili Şebinkarahisar ilçesi örneği* (Yüksek lisans tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Özkaynak, H. ve Özbay, A. E. Ö. (2018). Seismic vulnerability assessment of reinforced concrete buildings located in Esenler district of İstanbul, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(1), 285-294. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid/issue/43824/538601>

Öztürk, B. (2008). Preliminary seismic microzonation and seismic vulnerability assessment of existing buildings at the city of Niğde, Turkey., *14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.

Öztürk, B. (2010). Seismic microzonation studies and vulnerability assessment of existing buildings at Nigde, Turkey, *14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid, N. Macedonia.

Özvan A., Şengül M. A. ve Tapan M. (2008). Van Gölü havzası Neojen çökellerinin jeoteknik özelliklerine bir bakış: Erciş yerleşkesi, Çukurova Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi (Geosound), 52, 297-310. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/236147234_VAN_GOLU_HAVZASI_NEOJEN_COKELLERININ_JEOTEKNİK_OZELLİKLERINE_BİR_BAKIŞ_ON_THE_GEOTEKNİK_PROPERTIES_OF_NEOGENE_SEDIMENTS_OF_THE_LAKE_VAN_BASIN_IN_THE_VICINITY_OF_ERCİS

TMMOB Mimarlar Odası, Van Depremi Hasar Tespit Raporu, 20 Ocak 2012, Ankara.

KATAFOREZ KAPLAMALI ÇELİK YÜZEYLERE UYGULANAN DUBLEKS KAPLAMANIN KOROZYON DAYANIM PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Muhammed KILINÇ¹, Levent AKYALÇIN^{2*}

¹ Coatech Danışmanlık, Eğitim ve Laboratuvar, Bursa,

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-1781-6888>

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-6779-1597>

Anahtar Kelimeler

Öz

Korozyon,
Kataforez,
Dubleks Kaplama

Bu çalışma kapsamında, (i) kataforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı çinko lamelli kaplama, (ii) kataforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı çinko lamelli kaplama üzerine çözücü veya su bazlı son kat kaplama, (iii) kataforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı çinko lamelli kaplama üzerine çözücü veya su bazlı son kat kaplama üzerine kayganlaştırıcı kaplama, (iv) kataforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı son kat kaplama ve (v) kataforez kaplama üzerine kayganlaştırıcı kaplama çalışmaları yürütülmüştür. Yapılan çalışmalardan elde edilen kaplamalar görsel uygunluk kriterini sağladıktan sonra kuru yapışma, su direnci, nem direnci, tuz sisi, çevrimsel korozyon ve kimyasal direnç testlerine tabi tutulmuştur. Testlerden elde edilen sonuçlar otomotiv endüstrisinin beklentileriyle kıyaslanmıştır.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DUPLEX COATING APPLIED ON CATAPHORESIS COATED STEEL SURFACES ON CORROSION RESISTANCE PERFORMANCE

Keywords

Abstract

Corrosion,
Cataphoresis,
Duplex Coating

Within the scope of this study, (i) solvent or water-based zinc lamella coating on cataphoresis coating, (ii) solvent or water-based topcoat coating on cataphoresis coating, (iii) solvent or water-based topcoat on cataphoresis coating. Lubricating coating on solvent or based topcoat on zinc lamella coating, (iv) solvent or water-based topcoat on cataphoresis coating and (v) lubricant coating on cataphoresis coating were carried out. The coatings obtained from the studies were subjected to dry adhesion, water resistance, moisture resistance, salt mist, cyclic corrosion, and chemical resistance tests after meeting the visual suitability criteria. The results obtained from the tests were compared with the expectations of the automotive industry.

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 12.08.2021

Submission Date : 12.08.2021

Kabul Tarihi : 24.02.2022

Accepted Date : 24.02.2022

1. Giriş

Otomobil gövde üretiminin ilk dönemlerinde hem çelik hem de ahşap bileşenler kullanılmış ve boyanan parçalar yüksek sıcaklıkta fırınlanamadığından boyanın kuruması için haftalarca beklenmesi gerekmiştir. Bu nedenle, araç gövdelerinin boyanmasında daha fazla

renk pigmenti ve daha az uçucu bileşen içeriği olan koyu renkler tercih edilmiştir. Boyama işinin yol açtığı bu durum, otomobillerin toplu üretiminde çok önemli bir darboğaz yaratmıştır. 1930'lu yılların başından itibaren otomobillerin tamamen çelikten üretilmeye başlamasıyla birlikte üretim hızı artmış ve artan yığın

* Sorumlu yazar; e-posta : lakyalcin@eskisehir.edu.tr



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/>).

üretim hacmi, otomobillerin maliyetini düşürmeye başlamıştır (Akafuah, Poozesh, Salaimah, Patrick, Lawler ve Saito, 2016).

1920'ler ile 1940'lar arasında, yüksek üretim hızlarının karşılanması için otomobil gövdelerinin kaplanmasında püskürtme ekipmanları kullanılmaya başlanmıştır. Böylece daha eşit dağılımlı kaplama kalınlıkları elde edilmiştir. Püskürtme ekipmanı ve nitroselüloz lak kullanımıyla renk çeşitliliği artmış olsa da istenen yüzey özelliklerini elde etmek için kaplama işleminin en az 3-4 kez tekrarlanması gerekmiştir. Bununla birlikte, bu tür kaplamalar asidik ortamlara karşı daha düşük direnç sergilemiştir. Öte yandan, 1930'lu yılların başlarında kullanılmaya başlanan alkid emaye kaplamalar araç yüzeyine uygulanmış ve fırında pişirilerek kürlenmiştir. Kürlenme sırasında meydana gelen moleküler bağlanma reaksiyonları sonucunda dayanıklı bir kaplama elde edilmiştir. Ayrıca alkid reçine esaslı emayelerin kullanılmasıyla kaplama ve kuruma süresi kısalmıştır. Emaye kaplamaların bir diğer avantajı da 2-3 adımda uygulanabilmesi ve kimyasallara ve çözücülere karşı yüksek direnç göstermesidir. Ancak, alkid emaye kaplamalar güneş ışığına maruz kaldığında oksitlenmekte ve zamanla solarak matlaşmaktadır. 1960'larda akrilik fırınlama emayelerinin piyasaya sürülmesiyle, emaye kaplamaların dayanıklılığı da önemli ölçüde artmıştır. Ancak yüzeye elle püskürtme ile uygulanmasından dolayı yüzeyin kaplama kalınlığı değişkenlik göstermiş ve istenilen yüzey özelliklerini elde etmek için birden fazla kat uygulanması gerekmiştir. Ayrıca çelik yüzeyi korozyondan korumak için astar, pürüzlülüğü azaltmak ve boyanın kalkma direncini arttırmak için astar üzerine astar üstü kaplaması, çevre direncini arttırmak için de renk ve son kat kaplaması arka arkaya sürülmüştür. Otomobil gövdelerinin korozyondan korunması amacıyla 1950'lerde kullanılmaya başlanan daldırma kaplama işlemlerinde ciddi güvenlik, çevre ve işletim sorunlarıyla karşılaşmıştır. Çözücü veya su bazlı daldırma tankları kullanılırken patlama ve yangın tehlikeleri meydana gelmiştir. Karşılaşılan bu sorunlar, 1960'ların ortalarında, otomobil endüstrisini genellikle maleinize doğal yağların kullanıldığı anodik elektro kaplama yöntemine yöneltmiştir. Bununla birlikte, 1970'lerin ortalarında, anodik elektro kaplamaya göre daha iyi korozyon önleme performansı gösterdiği için katodik elektro kaplama tercih edilmeye başlanmıştır. Katodik elektrokaplama, modifiye epoksi reçine omurgaları ve bu reçinelerin reaktif poliüretan esaslı çapraz bağlayıcıları kullanılmıştır. Bunların fırlatma kuvvetlerinin yüksek olması ve daha yüksek işlem güvenilirliği sağlayarak düşük akımlarda daha yüksek kaplama oluşturması, korozyon önleme performansının artmasını da beraberinde getirmiştir. Günümüzde katodik elektrokaplama, otomobillerin hem gövdelerinin hem de diğer bileşenlerinin korozyondan korunmasında kullanılan en etkili yöntemdir. Bu yöntemin avantajı, metal altlıkta bulunan demir, çinko

veya alüminyumun, uygulanan ön işlemler sırasında çözünmemesinden ve reçinelerin kimyasal yapısından kaynaklanmaktadır (Akafuah vd., 2016).

Kataforez kaplama olarak da bilinen elektroforetik kaplama, başta otomotiv endüstrisi olmak üzere birçok endüstriyel ürünün korozyona karşı direncinin artırılmasında ilk kat kaplaması olarak kullanılmaktadır. Bu işlemin en önemli avantajları karmaşık yüzey geometrisine sahip metallerin etkin bir şekilde kaplanabilmesi, kaplama sürecinin otomatik olarak yürütülebilmesi, kaplama malzemesinin etkin kullanımı ve düşük kirlilik oluşumu olarak sıralayabiliriz.

Ticari olarak ilk katodik kataforez kaplama tesisi 1970 yılında PPG Industries, ABD, şirketi tarafından tanıtılmıştır. Otomotiv sanayisinde ise ilk katodik kataforez kaplama kullanımı 1975'te gerçekleşmiştir. Günümüzde dünyada kullanılan kataforez kaplama hacminin yaklaşık %70'i katodik kataforez kaplamadır ve bu hacim büyük ölçüde otomotiv sanayisi tarafından kullanılmaktadır. Katodik kataforez kaplama teknolojisi otomotiv sanayisinde kullanılan parçaların ömrünün uzamasına neden olmuştur. Çeşitli kataforez kaplama (KK) kompozisyonları, KK işlemleri ve KK ile kaplanmış eşyalarla ilgili olarak binlerce patent bulunmaktadır (Kılınç, 2019).

Çinko lamelli kaplama yöntemi de 1970'lerde, Amerika Birleşik Devletleri'nde yeni bir kaplama sistemi olarak geliştirilmiştir. Tipik olarak 8-12 µm ince bir kaplama kalınlığıyla korozyona karşı yüksek koruma sağlamaktadır. Söz konusu kaplama sistemi otomotiv sanayinde 1980'lerden sonra yaygın olarak yüksek seviyede korozyon direnci sunan kaplama sistemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çinko-lamelli kaplama işlemi sırasında hidrojen gazı oluşmadığından kataforez kaplama işlemine bir alternatif olarak kritik uygulamalar için kullanılmaktadır.

Bu yöntem günümüzde özellikle otomotiv sanayinde darbeye, sürtünmeye, kimyasal etkiye ve korozyona maruz kalan malzeme tiplerinden civata, somun, bağlantı braketleri, kapı menteşeleri, denge milleri, fren diskleri, debriyaj sistemleri vb. birçok otomotiv parçasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kılınç, 2019).

Çinko lamelli kaplamalar elektrolitik olarak uygulanmayan ve içeriğinde çinko ve alüminyum bulunan kaplama türleridir (Zink Flake Coatings).

Çinko lamelli kaplamalar için uluslararası standart olarak ISO 10683 standardı geliştirilmiş olup aynı amaçla EN 13858 Avrupa standardı da tanımlanmıştır. ISO 10683, dişli bağlantı elemanları için çinko lamelli kaplama gereklilikleri bildirirken EN 13858, vida dışı içermeyen bağlantı elemanları ve diğer metal parçalar için çinko lamelli kaplama gerekliliklerini tanımlamaktadır.

Üç tür çinko lamelli kaplama vardır. Bunlar; (i) Cr (VI) içeren çinko lamelli kaplamalar, (ii) çözücü bazlı Cr (VI) içermeyen çinko lamelli kaplamalar ve (iii) su bazlı Cr (VI) içermeyen çinko lamelli kaplamalardır.

Cr (VI) içeren çinko lamelli kaplama yöntemiyle kaplanan yüzeylerde daha ince kaplama kalınlığı ve daha fazla korozyon direnci elde edilmesine karşın Cr (VI) kanserojendir ve çevre ve canlı yaşamı için potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır. Avrupa'da konuyla ilgili olarak yayınlanmış kanun ve yönetmeliklere göre Cr (VI) içeren yüzey kaplamanın kullanımını yasaklanmıştır. Bu durum, 1 Temmuz 2007'den itibaren EC 2000/53 sayılı Araç Ömrü Yönetmeliği ile elektrikli ve elektronik teçhizata ilişkin EC 2002/95 yönetmeliğinde yer almaktadır. Otomotiv ve elektrik endüstrisi dışındaki uygulamalar için bu kaplama türü kullanılmaya devam etmektedir (Holmes, Wise ve Wise, 2008; Toxicological Review Of Hexavalent Chromium, 1998).

Çözücü bazlı Cr (VI) içermeyen çinko lamelli kaplamada sıvı olarak temin edilen kimyasallar, tiner gibi çözücüler yardımıyla istenilen viskozite değerlerinde kullanıma hazır hale getirilerek kullanılır.

Su bazlı Cr (VI) içermeyen çinko lamelli kaplamada ise yine sıvı olarak temin edilen kimyasallar çözücü olarak deiyonize suyun kullanılmasıyla istenilen viskozite değerlerinde kullanıma hazır hale getirilerek kullanılır.

Günümüzde, su bazlı Cr (VI) içermeyen çinko lamelli kaplamalar otomotiv sanayisinde bağlantı elemanları ve diğer otomobil parçaları için tercih edilen bir kaplama türüdür. Bu tür kaplamaların avantajlarını iyi kaplama görünümü elde edilebilmesi, yüksek korozyon ve sıcaklık direncine sahip olması, kimyasallara karşı iyi direnç göstermesi, çevreyle uyumlu olması, iyi sürtünme karakteristiği sergilemesi, hidrojen gazı çıkışı olmaması ve düşük elektrik iletkenliğine sahip olması olarak sıralayabiliriz (Kılınç, 2019).

Kataforez kaplamada, kaplama tabakası hasar gördüğünde katodik korozyon direnci ortadan kalkmaktadır. Kaplamanın ayrılmasına ve kabarmasına/yongalanmasına yol açan boşluklarda ve çiziklerde kırmızı pas oluşabilmektedir. Çinko veya çinko alaşımı kullanılan kaplamalarda ise boru biçimindeki hacimli parçaların iç kısımları kaplanamaz. Ayrıca bu tür kaplamaların uygulandığı yüksek mukavemetli çelik malzemelerde hidrojen gevreklesmesiyle de karşılaşılabılır.

Çinko lamelli kaplamalarda ise parça geometrisi riski ve hidrojen gevrekliği olmadığından mükemmel korozyon koruması yapılabilir. Bu tür kaplamalar aynı zamanda aşırı sıcaklıklara dayanıklıdır ve iyi sürtünme özelliklerine sahiptir. Çinko lamelli kaplamalar çevre dostudur ve herhangi bir hidrojen gevreklesmesi olmadığı için yüksek mukavemetli bağlantı elemanları için güvenle kullanılabilir. Sonuç olarak, çinko lamelli

kaplamalar çok çeşitli parçalarda kullanılabilir ve çok büyük avantajlar sunarlar.

Çinko lamelli kaplamayla istenilen korozyon performansına, sürtünme katsayısına, kimyasal dirence ve renk türüne ulaşabilmek için Son Kat Kaplama (Top Coat) işlemleri de uygulanmaktadır. Son Kat Kaplama prosesleri de su ve çözücü bazlı olarak iki ayrı türde hazırlanmaktadır.

Son kat kaplamalar, organik olarak yüksek oranda bağlanma yapısına sahip, mikro tabaka oluşturucu bir kaplamadır ve çinko lamelli kaplamalara son kat olarak kullanılmaktadır. Uygun kaplama ve fırınlama işleminden sonra iyi yapışan, kimyasallara dayanıklı, pürüzsüz, 5-12 µm arasında kaplama kalınlığına sahip ve yapışmayan bir tabaka meydana gelmektedir. Son kat kaplamaların tek başına katodik koruma özellikleri yoktur, bu nedenle metal parçalar son kat kaplama prosesinden önce ön kaplama işlemine tabi tutulmalıdır. Aksi takdirde kaplama zarar gördüğünde metalde korozyon görülebilir. Çinko lamelli kaplamalarda olduğu gibi galvanik çinko kaplamalar üzerine de tatbik edilen son kat kaplamalar üstün bir koruma sağlamaktadır (ISO 10683:2000(en)-Fasteners-Non-Electrolytically Applied Zinc Flake Coatings).

Otomotiv sanayinde metal parçaların korozyon dirençleri, üretici firmaların kalite standartları ve beklentileri çevresinde, tuz sisi ve çevrimsel korozyon direnci testlerine göre değerlendirilmektedir. Otomobili oluşturan metal parçaların kullanıldığı yere bağlı olarak söz konusu testlere ait kalite standartları ve beklentiler de değişmektedir. Parçalar hem tekil hem de montajlı olarak testlere tabi tutularak uygunlukları araştırılmaktadır. Korozyon direnci testlerinden elde edilen sonuçlara göre otomobilin ortalama ekonomik ömrüyle ilgili beklentiler ve buna bağlı olarak üretilen araçların satış sonrası korozyona karşı garanti süreleri ortaya konulmaktadır. Otomobil üreticileri araçlarının doğrudan darbe ve korozyona maruz kaldığı bölgelerdeki parçalarının korozyon dirençlerinin yüksek performans göstermesini beklemektedirler. Üreticiler özellikle yeni nesil elektrikli araçların bataryalarının muhafaza edildiği bölümlerin hem çok yüksek korozyon direnci göstermesini hem de yalıtkan olmasını istemektedirler. Tüm bunların ötesinde dünya üzerinde farklı coğrafi ve iklimsel farklılığı olan ülkelere satılan araçların her türlü iklim ve coğrafya koşulunda asgari korozyon direnci beklentisini karşılaması gerekmektedir. Bu beklentilerin karşılanmasında da tek bir kaplama prosesi yeterli olamamaktadır. Bu nedenle farklı kaplama proseslerinin üstün özelliklerinin bir araya getirilerek korozyon performansının yükseltilmesine yönelik araştırma-geliştirme faaliyetleri tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de artan oranda devam etmekte olup bu durum çalışmamızın en önemli motivasyon kaynağı olmuştur.

Bu çalışma kapsamında, (i) kateforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı çinko lamelli kaplama, (ii) kateforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı çinko lamelli kaplama üzerine çözücü veya su bazlı son kat kaplama, (iii) kateforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı çinko lamelli kaplama üzerine çözücü veya su bazlı son kat kaplama üzerine kayganlaştırıcı kaplama, (iv) kateforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı son kat kaplama ve (v) kateforez kaplama üzerine kayganlaştırıcı kaplama çalışmaları yürütülmüştür. Yapılan çalışmalardan elde edilen kaplamalar görsel uygunluk kriterini sağladıktan sonra kuru yapışma, su direnci, nem direnci, tuz sisi, çevrimsel korozyon ve kimyasal direnç testlerine tabi tutulmuştur. Testlerden elde edilen sonuçlar otomotiv endüstrisinin beklentileriyle kıyaslanmıştır.

2. Yöntem

Deneyler sırasında otomotiv sanayisine yönelik olarak üretilen ve soğuk haddelenmiş DKP sac levhalar kullanılmış olup, kimyasal olarak %0.08 C, %0.65 Mn, %0.01 P, %0.006 S, %0.01 Si ve %0.05 Al içermektedirler. Kalınlığı 1 mm olan standart ve yüzeyi kumlanmış olarak kullanılan levhalar 80 x 100 mm boyutlarında kesilmiş olarak temin edilmiştir.

Kateforez kaplama, çinko lamelli kaplama ve son kat kaplama uygulamaları Uzman Kaplama San. ve Tic. Ltd. Şti., Bursa'da yapılmıştır. Kullanılan kaplama banyolarının özellikleri Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen kateforez kaplama üzerine dubleks kaplama uygulamasındaki süreçler üç ana başlık altında değerlendirilmiştir. Bunlar, kateforez kaplama, çinko lamelli kaplama ve son kat kaplamadır. Deneysel çalışmalar sırasında takip edilen deney planlaması Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3'de verilen deney planlamasında kullanılan tüm plakalar yüzey hazırlama işleminden sonra kateforez kaplama işlemine tabi tutulmuş ve kaplamanın kürlenmesi için fırınlanmıştır. Her deneyde beş ayrı plaka kullanılmış, böylelikle kaplama işlem süresince plakaların kaplama banyosundaki konumlarından bağımsız olarak değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1

Kateforez kaplama prosesinde kullanılan banyoların analiz sonuçları.

			Hedef	Ölçüm		
KATAFOREZ KAPLAMA	Yüzey Hazırlama	Aktivasyon	pH	8.5 -10	9.43	
		Fosfat Kaplama	Top. Asit, mL		17-25	22,2
			Ser. Asit, mL		1.2-2.0	1.64
			Hız, mL		1.5-3.0	1.9
			Toplam F, ppm		550-850	662
			Serbest F, ppm		50-250	233
	Ni Mik, g/L			0.6-1.1	1.01	
	Zn Mik, g/L			0.6-1.2	0.98	
	Mn Mik, g/L		0.2-0.5	0.37		
	Fe Mik, ppm		<20	15		
	Pasivasyon	Titir. Nok, mL		1.7-6.9	3.2	
		İletkenlik, µS		<900	811	
Elektro-Kaplama	Kateforez	Katı Miktarı, %		14-17	15.8	
		Kül Miktarı, %		1.5-3.0	2.28	
		Reçine/Pigment Bağlama Oranı		0.15-0.20	0.168	
		Sıcaklık, °C		31-33	32°C	
	pH	Kat. DI Su		5.7-6.3	5.9	
				5.5-7.5	6.9	
İletkenlik	Kat. Anolit DI Su		1.1-1.9 mS	1.57		
			4-6 mS/cm	4.20		
Ultrafiltrat	pH		5.6-6.3	5.8		
	İletkenlik		0.6-1.4 mS	0.65		
Kürlenme	Pişirme Fırını	Sıcaklık		>150°C	155	
		Süre		> 15 dk.	20	

Tablo 2

Çinko lamelli ve son kat kaplama prosesi teorik ve deneysel banyo proses analizleri

			Hedef	Ölçüm	
ÇİNKO LAMELİ VE SON KAT KAPLAMA	Çinko Lamelli Kaplama	Çinko Lamelli Kaplama	Viskozite	69-83 s	72 s
			Yoğunluk, g/cm ³	1.3-1.4	1.34
			Katı, %	40-42	41.2
			Sıcaklık, °C	18-22	19
			pH	7-8.5	7.7
	Ön Kurutma	Kürlenme	Sıcaklık, °C	60-100	74
			Süre, dak.	6-10	7
			Sıcaklık, °C	300-350	320
	Son Kat Kaplama	Kürlenme	Yoğunluk, g/cm ³	1.04-1.24	1.14
			Katı, %	17-26	21.5
			Sıcaklık, °C	10-30	19.6
			Sıcaklık, °C	140-180	155
Süre, dak.			15-30	25	

Tablo 3

Deney planlaması

Deney No	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	✓	✓				
2	✓		✓			
3	✓	✓		✓		
4	✓	✓			✓	
5	✓		✓	✓		
6	✓		✓		✓	
7	✓	✓		✓		✓
8	✓	✓			✓	✓
9	✓		✓	✓		✓
10	✓		✓		✓	✓
11	✓				✓	
12	✓			✓		
13	✓					✓

P1	Kataforez Kaplama
P2	Su Bazlı Çinko Lamelli Kaplama
P3	Çözücü Bazlı Çinko Lamelli Kaplama
P4	Su Bazlı Son Kat
P5	Çözücü Bazlı Son Kat
P6	Kayganlaştırıcı

2.1. Kaplama Süreçleri

2.1.1. Kataforez Kaplama

Kataforez kaplama süreci (i) yüzey hazırlama, (ii) elektro kaplama ve (iii) kürlenme basamaklarından oluşmaktadır.

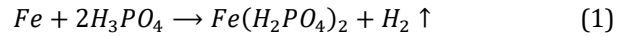
Yüzey hazırlama süreci yağ alma işlemiyle başlamaktadır. Bu işlemle metal yüzeyindeki tüm kirliliklerin uzaklaştırılması hedeflenmektedir. Bu amaçla genellikle alkali temizleyiciler kullanılmaktadır. Yağ alma işlemi hem sprey hem de daldırma olarak uygulanabilmektedir.

Yağ alma işlemi takiben durulama işlemi yapılmaktadır. Durulama işleminin amacı hem metal yüzeyinde kalan kirlilikleri ve kimyasalları uzaklaştırmak hem de yağ alma sürecindeki kimyasalların kaplama banyolarına taşınmasını önlemektir.

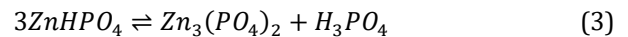
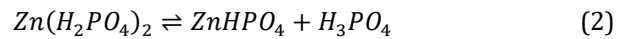
Durulama işleminden sonra, fosfatlama işleminin etkinliğini arttırmak üzere, aktivasyon işlemi uygulanmaktadır. Aktivasyon işlemi sırasında metal yüzeyi tek tip kristallerle kaplanmakta ve böylelikle fosfat kaplama ağırlığının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Aktivasyon sürecinde titanyum orto fosfatın sulu dispersiyonları, $Na_4TiO(PO_4)_2 \cdot 7H_2O$, kullanılmaktadır. Aktivasyon işleminden sonraki basamak olan fosfatlama işleminde titanyum fosfat

yüzeyindeki sodyum iyonlarıyla çinko iyonları yer değiştirmektedir. İyon değişimi, çinko fosfat kristalleri için kristalleşme ajanı görevi görmektedir. Fosfat kaplama basamağındaki kristal oluşum hızı aktivasyonla artmaktadır.

Fosfat kaplama, kataforez kaplama süreci içerisinde yer alan yüzey hazırlama basamağındaki en önemli işlemlerden birisidir. Fosfat kaplama, ekonomik olması, operasyon hızının yüksek olması, üstün korozyon ve aşınma direnci sergilemesi ve adezyon ve yağlama özelliklerinin iyi olması sebebiyle özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fosfat kaplama, metal altlıkla bütünleşmiş ve metale göre daha absorblayıcı olan çözünmeyen fosfatın yeterince sert ve elektriksel olarak iletken olmayan bir yüzey kaplaması oluşturduğu bir metal yüzey işlemi olarak tanımlanabilir. Kaplama, yüzeyde gerçekleşen kimyasal reaksiyonun bir sonucu olarak metal altlık ile kendisinin korozyona dirençli bir film tabakasıyla bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Tüm geleneksel fosfatlama çözeltileri, bir veya daha fazla alkali metal/ağır metal iyonunun seyreltik fosforik asit temelli çözeltileridir. Bunlar, esas olarak banyoda bulunan metal iyonlarının serbest fosforik asidini ve birincil fosfatlarını içermektedir. Fosfatlama çözeltisine bir çelik panel daldırıldığında, banyoda bulunan serbest fosforik asit tarafından panelin yüzeyinde bulunan demirin çözülmeye başladığı ve hidrojen gazı çıkışının meydana geldiği bir kimyasal reaksiyon gerçekleşmektedir (Narayanan, 2005).



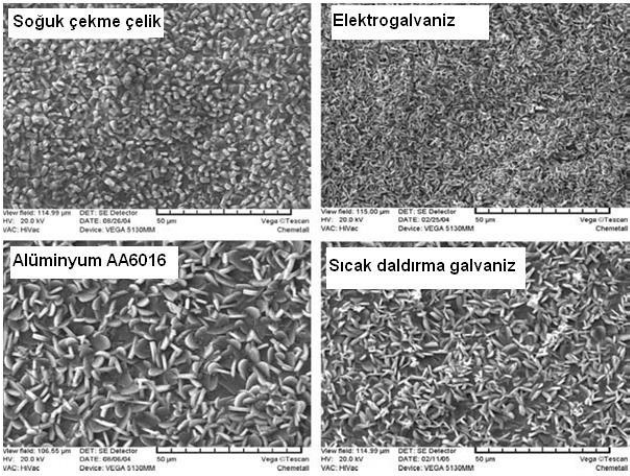
Çözünür birincil ferröz fosfatın oluşumu, çözeltideki serbest asit derişiminin eşzamanlı olarak bölgesel tükenmesine yol açarak metal/çözelti ara yüzündeki pH'da bir artışa neden olmaktadır. pH'daki bu değişiklik, çözünebilir birincil fosfatlar ile fosfatlama çözeltisinde bulunan ağır metal iyonlarının çözünmeyen tersiyer fosfatları arasındaki hidrolitik dengeyi değiştirerek, çözünemeyen ağır metal tersiyer fosfatların hızlı dönüşümü ve birikmesi ile sonuçlanır. Bir çinko fosfat banyosundaki denge reaksiyonları aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Narayanan, 2005).



Hidrolizi baskılamak ve fosfatın etkin bir şekilde birikmesi için gerekli olan banyonun kararlılığı kaplama banyosunda bulunan belirli bir miktardaki serbest fosforik asit ile sağlanabilir. Birincil ve üçüncül fosfat dengesinde dengenin yönünü etkileyen bir başka faktör de banyonun sıcaklığıdır. Daha yüksek sıcaklıklar, üçüncül fosfatların daha kısa sürede ve kolay çökmesini sağlar. Bu nedenle daha yüksek sıcaklıklarda çalışan banyolar için daha fazla miktarda

fosforik asit gerekmektedir. Öte yandan, sürekli olarak oda sıcaklığında çalıştırılan fosfatlama banyolarının asitliğinin artması olasılığı daha fazladır ve kaplamayı oluşturan metalin karbonatının ($Zn(CO_3)_2$) çinko fosfat banyosuna eklenmesiyle nötralize edilir. Bu nedenle, serbest fosforik asit içeriği, denge koşulunu korumak için çalışma sıcaklıklarına ve banyodaki bileşenlerin konsantrasyonlarına bağlı olarak seçilmelidir. Çok fazla miktardaki fosforik asit sadece kaplamanın oluşumunu geciktirmekle kalmaz, aynı zamanda aşırı metal kaybına da yol açmaktadır (Narayanan, 2005).

Fosfat kaplama hem demir içeren hem de demir içermeyen metaller üzerinde etkili bir şekilde gerçekleştirilebilir (Bkz. Şekil 1). Demir içeren metaller arasında en çok yumuşak çelikler kullanılır, ancak maraging çelikler, galvanizli çelikler ve paslanmaz çelikler de kaplanabilir. Kaplanacak çelik malzemedeki karbon içeriğinin artmasıyla birlikte fosfatlama yavaşlamakta ve sonuçta yüzeydeki kristaller büyümektedir. Fosfat kaplanabilen demir içermeyen metaller arasında çinko, alüminyum, magnezyum ve kadmiyum bulunmaktadır. Orijinal metalin sertliği, gerilme mukavemeti ve işlenebilirliği gibi fiziksel özellikler fosfatlamadan sonra korunur. Fosfat kaplamaların metal yüzeyinde neden olduğu boyutsal değişim 10^{-3} mm mertebesindedir (Narayanan, 2005).



Şekil 1. Soğuk Çekme Sac, Elektrogalvanizli Sac, Sıcak Daldırma Galvanizli Sac ve Alüminyum Sacın Düşük Çinko İçerikli Fosfat Kaplamalarındaki Kristal Morfolojilerine Ait Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri (Kılınç, 2019).

Fosfatlama banyosundan çıkan metaller, yüzeyindeki artık kimyasallardan ve çamurlardan arındırılmak ve bunların takip eden adımlara bulaşmasını engellemek için durulama işlemine tabi tutulmaktadır. Aksi durumda pasivasyon banyosunun etkinliği azalmaktadır (Kılınç, 2019).

Fosfat kaplamalı metal sacın korozyon dayanımını arttırmak için pasivasyon işlemi uygulanmaktadır.

Pasivasyon banyosu; krom (VI), krom (III) veya krom içermeyen çözeltilerinden oluşmaktadır. Krom (VI) çözeltilerinin kanserojen olmasından dolayı, günümüzde krom (VI) pasivasyonlarının yerini, zirkonyum temelli pasivasyonlar almıştır. Zirkonyum temelli pasivasyon prosesinde, pasivasyon ajanlarının, asit çözeltileri ile beraber fosfat yüzeyi üzerindeki ikincil fosfat kristallerini aşındırdığı ve çözünemeyen bileşenlerin çökmesine bağlı olarak fosfat yüzeyi üzerindeki gözenek boyutlarını azalttığı ve böylelikle korozyonun ilerlemesini engellediği bildirilmektedir. Japonya ve Kore'deki otomotiv üreticileri pasivasyon işlemini kullanmamaktadır. Onun yerine üç kademedeki daha fazla art arda saf su ile yıkama işlemini tercih etmektedirler. Son yıllarda Avrupa'daki otomobil üreticileri de bu üretim felsefesini benimsemeye başlamış ve pasivasyon adımını ortadan kaldırmışlardır (Kılınç, 2019).

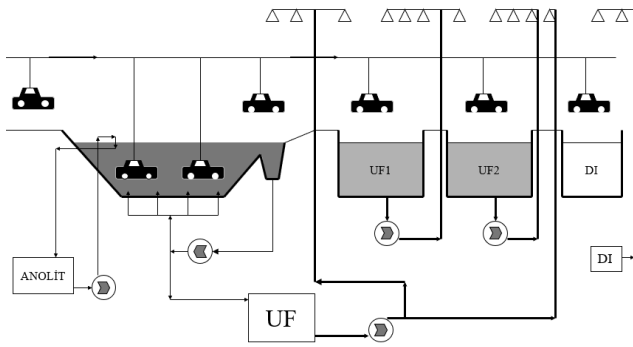
Kataforez kaplama öncesi deiyonize suyla durulama yapılmasının sebebi, kataforez kaplama banyosuna Ca^{+2} , Mg^{+2} , v.b. iyonların taşınmasının engellenmesidir. Bu iyonlar, fosfat kristalli yüzeylerde kaldıklarında, kataforez kaplama sonrasındaki yapışma performansını olumsuz yönde etkilemektedirler. Kaplama hatlarında kullanılan deiyonize suyun iletkenliğinin $20^{\circ}C$ 'de $15 - 50 \mu S cm^{-1}$ olması istenilmektedir. Deiyonize durulama banyosunun iletkenliğinin düşük olmasının en önemli sebebi, fosfat banyosu ve sonrası durulamalardan taşınan Ca^{+2} , Mg^{+2} , gibi iyonların banyo içinde tutularak kataforez banyosuna geçmesinin engellenmesiyle kataforez kaplama sonrasında oluşabilecek olası tuz reaksiyonlarını engelleyerek boyanın yapışma kaybının önlenmesidir.

Kataforez kaplama çözeltisi reçine, bağlayıcı, pigmentleri içeren bir macun ve bir çözücü karışımından oluşmaktadır. Anodik elektro kaplama sırasında, boya negatif olarak yüklenirken metal parçalar pozitif olarak yüklenmekte ve az miktardaki metal iyonunun boya filmine migrasyonu, kaplamanın performans özelliklerini kısıtlamaktadır. Bu nedenle, anodik kaplamalar çoğunlukla iç mekanlarda kullanılmakta ve mükemmel renk ve parlaklık kontrolü sunmaktadırlar. Katodik elektro kaplamada ise, boya pozitif yüklü iken kaplanacak metal negatif olarak yüklenmektedir. Anodik işlemin aksine, katodik işlem, boya filmine girebilecek demir miktarını azaltmaktadır. Bu nedenle, katodik kaplamalar yüksek performans ve mükemmel korozyon direnci sunmakta olup pek çok ülkede anodik kaplamaların yerini almıştır. Kataforez kaplama işleminde sadece %0.5'lik bir çözücü kullanıldığı için nispeten çevre dostu olarak kabul edilmektedir.

Elektro kaplama tankındaki çözücünün pH'ı, tanktaki asidik ve bazik bileşenlerin dengesinin bir ölçüsüdür. Dengeye reçinedeki fonksiyonel gruplar ve nötralize edici ajanlar hakimdir. Kataforez tankındaki düşük pH,

film kalınlığını azaltmakta ve bu nedenle filmin kopma riskine karşı daha yüksek potansiyel farkı uygulanması gerekmektedir. pH, ön arıtma kimyasallarından olumsuz bir şekilde etkilenebilmektedir. Böyle bir durumda, iletkenlik ve pH'ın spesifikasyon dışındaki değerlere kayması ve ultrafiltratın deiyonize su ile tazelenmesiyle iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.

Şekil 2'de gösterildiği gibi, kataforez kaplama, otomobil gövdelerinin kaplama çözeltisine daldırmasını ve gövdeden ve sıvı kataforez kaplama çözeltisinden bir elektrik akımı geçirilmesini içermektedir. Bu kaplama işleminin yüklü doğası nedeniyle, kataforez kaplama çözeltisi spreynin ulaşamayacağı yerlere nüfuz edebilmektedir. Kataforez kaplama, kaplamanın metal altlığa yapışmasını teşvik ederek düzgün bir kaplama kalınlığı elde edilmesini sağlamaktadır. Sonuç, çok yüksek katı içerikli ve ön işlem görmüş gövdeye sıkı bir şekilde yapışan ve çözünmeyen bir kaplama tabakasıdır (Kılınç, 2019).



Şekil 2. Kataforez Kaplama Prosesi (Kılınç, 2019).

Kataforez kaplama prosesinde kullanılan karışım, çalışma sırasında kaplama tankına beslenmektedir. Otomobil gövdesi kaplama tankına indirilmekte ve bir elektrik akımı uygulanmaktadır. Tanktaki çözelti %80-90 deiyonize su ve %10-20 kaplama karışımından oluşmaktadır. Sürekli olarak karıştırılan kaplama karışımındaki deiyonize su, karışımındaki katılar için bir taşıyıcı görevi görmektedir. Reçine, son kat boya filmi için önemlidir ve korozyona karşı koruma, dayanıklılık ve tokluk sağlamaktadır. Pigmentler renk ve parlaklık sağlamak için kullanılmaktadır. Kataforez kaplama sırasında boya performansını kontrol etmek için boyayı temizlemek ve uygulanan potansiyel farkını ayarlamak esastır. Kaplamanın kalınlığı arttıkça, kaplanan yüzey daha yalıtkan hale gelmekte ve kaplama işleminin yavaşlamasına neden olmaktadır. Bir otomobil gövdesi tanktan çıkarken, yüzeye yapışan ancak yüzeye bağlı olmayan boyadaki katı maddeler durulanıp bir ultrafiltrasyon ünitesi aracılığıyla süzülerek kataforez kaplama çözeltisindeki katıların geri kazanımı ve kaplama tankına yeni girecek altlıklardaki kaplamanın pürüzsüz olması

sağlanmaktadır. Ultrafiltrasyon kataforez kaplama tesislerinde yaygın olarak kullanılan bir ayırma prosesidir. Ultrafiltrasyonda amaca uygun olarak seçilmiş polimerik membranlar kullanılmaktadır. Membranlar 30 ila 300 nanometre gözenekliliğe sahiptir. Katodik elektro kaplamalarda su, sıvı fazdaki organik çözücüler, elektrolitler ve düşük molekül ağırlıklı reçineler membrandan geçerek boyadan ayrılmaktadır. Bunlara ultrafiltrant veya permeat denir. Kataforez kaplama tesisi çalışırken ultrafiltrant durulama banyosundaki katı miktarı sürekli olarak artmaktadır. Bunun nedeni metal altlık üzerine elektrostatik kuvvetlerle tutulmuş boyanın ultrafiltrant durulama banyolarına (UF1 ve UF2) taşınmasıdır. Boya kullanımının %100'e yakın olabilmesi için ultrafiltrant durulama banyosundaki (UF1) katı miktarının %1-2 arasında, ultrafiltrant durulama (UF2) banyosundaki katı miktarının ise %0,5-1,0 arasında tutulması gerekmektedir.

Kataforez kaplamadan sonra otomobil gövdesi, maksimum kaplama performans özelliklerinin elde edebilmesi için kürlenmenin gerçekleştiği ve sıcaklığı 160°C sabit tutulan bir fırına en az 10 dakika süreyle girmektedir. Fırın sıcaklığı ve ısıtma süresi kaplamanın kopma direncini ve filmin gövdeye yapışmasını arttırmakta ve korozyon korumasına önemli katkılar sağlamaktadır (Kılınç, 2019).

2.1.2. Çinko Lamelli Kaplama

Çinko lamelli kaplama süreci yüzey hazırlama ve çinko lamelli kaplama işlemi olmak üzere iki kademe ve bu işlemler altında yer alan yedi basamakta gerçekleştirilmektedir.

Birinci kademe olan yüzey hazırlama işlemi yağ alma, durulama, kurutma ve kumlama basamaklarından meydana gelmektedir.

Yağ alma basamağında metal parçalar üzerindeki yağ ve kir tabakasının parçadan uzaklaştırılması için uygulanmaktadır. Yağ alma banyolarında fosfat ve silikat içerikli alkali temizleme kimyasalları kullanılmaktadır. Yağ alma banyoları 40-80°C de çalışmakta ve püskürtme ya da daldırma yöntemleri kullanılmaktadır.

Durulama basamağında, yağ alma işlemi sonrasında metal parçaların yüzeyinde kalan alkali kimyasallar ve diğer safsızlıklar uzaklaştırılmaktadır. Alkali yağ alma banyosundan taşınacak bir kimyasal çinko lamelli kaplama banyolarının içeriğini kolaylıkla bozabileceğinden durulama işleminde parçaların kimyasallardan iyice arındırılması gerekmektedir.

Durulama işlemi sonrasında, çinko lamelli kaplama işlemine başlamadan önce, metal yüzeyinde herhangi bir sıvı ve alkali kalıntısının olmaması için kurutma

işleminin yapılması büyük önem taşımaktadır. Kaplama banyosuna giren parçanın yüzeyindeki sıvı, hazırlanan kaplama sıvısının derişimini değiştirerek özelliğini kaybetmesine yol açabilmektedir. Kurutmadan sonra parçalar kumlama prosesine alınır.

Mekanik bir temizleme yöntemi olan kumlama işlemi, metal yüzeyinde kalabilecek tüm kimyasalların, metal çapaklarının ve daha öncesinde oluşabilecek pasların sökülerek, çinko lamelli kaplamaya uygun bir hale getirilmesinde kullanılmaktadır. Bu işlem ile farklı ve karmaşık geometrilerdeki tüm parçaların temizliği mümkün olabilmektedir.

Çinko lamelli kaplama kimyasalları sıvı halde temin edilmektedir ve uygulamadan önce istenen koşullara göre uygun bir çözücü veya suyla hazırlanmaları gerekmektedir. Uygulamadan önce viskozite, sıcaklık ve karıştırma süresi gibi parametreler önemli bir rol oynamaktadır. Çinko lamelli kaplama dört farklı uygulama tekniği kullanılarak uygulanabilmektedir. Bunlar, püskürtme, daldırıp-döndürme, askıyarak daldırıp-döndürme ve daldırıp çıkarmadır. Kullanılacak kaplama yöntemi parçanın büyüklüğüne, kaplanacak malzeme türüne ve kaplama kalınlığının hassasiyetine bağlı olarak seçilmektedir.

Çinko lamelli kaplama işleminden sonra kaplanan parçalar ön kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Ön kurutma işlemi 60-100°C sıcaklıkta 6-10 dk. süreyle gerçekleştirilmektedir. Böylelikle parçalar üzerindeki kaynama noktası düşük uçucu kimyasallar buharlaşarak parçadan uzaklaştırılmaktadır. Parçalar doğrudan yüksek ısıl işleme tabi tutulmadan önce ön kurutma işlemi yapılarak kaplama kalitesinde ve görünümde yüksek kaliteye ulaşılması hedeflenmektedir.

Parçalar ön kurutma işlemi sonrasında konveyör bant ile fırına taşınmaktadır. Çinko lamelli kaplama işlemi görmüş parçaların kürlenme işlemi 300-350°C sıcaklıkta 15-45 dk. sürede gerçekleştirilmektedir. Parçalar aynı taşıma sistemi ile kürlenme işlemi sonrasında soğutma bölümüne taşınarak dışarıdan çekilen hava ile ortam sıcaklığına kadar soğutulmaktadır (Kılınç, 2019).

2.1.3. Son Kat ve Kayganlaştırmacı Kaplama

Son kat kaplama prosesi, çinko lamelli kaplama işleminin devamında ve istenilen özellikler doğrultusunda parçanın soğuma işleminden sonra gerçekleştirilmektedir. Hazır gelen sıvı kaplama kimyasalları istenilen çalışma parametrelerine göre çözücü veya su bazlı olarak hazırlanarak kullanıma uygun hale getirilmektedir. Son kat kaplama işlemi, çinko lamelli kaplama işlemindeki aynı uygulama yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir.

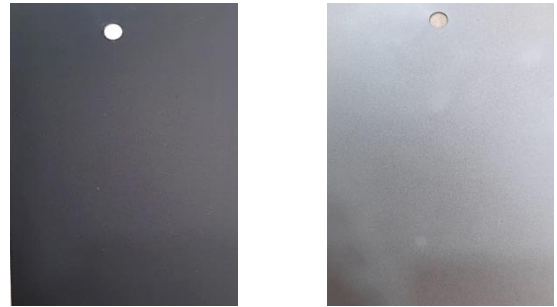
Son kat kaplama işleminden sonra parçalar konveyör bant üzerine alınarak kürlenme işleminin gerçekleştirileceği fırına gönderilir. Kürlenme işlemi son kat kaplama prosesi için 140-180°C'de 15-30 dakika sürmektedir.

Kayganlaştırmacı kaplama, kimyasallara ve aşınmaya karşı direnç, sürtünme katsayılarının kontrolü iyileştirilmesi vb. gereksinimleri karşılayan son kat kaplama çeşididir. Kayganlaştırmacı kaplama birçok sektörde yeni beklentilere cevap verebilir. Bu kaplama çeşidi, çinko lamelli kaplamada ve son kat kaplamada olduğu gibi daldır-döndür, daldır-çıkarm ve püskürtme yöntemleriyle uygulanabilir. Kayganlaştırmacı kaplamalar, hidrolik sıvısı, fosforik asit, otomobil yağları ve diğer kimyasallara karşı koruma sağlamakta, hidrojen kırılmalığı gözlenmemekte ve çinko lamelli kaplamayla birlikte kullanımında korozyona karşı korumada iyileşme gözlenmektedir (Kılınç, 2019).

2.2. Kaplama Testleri

2.2.1. Görsel Uygunluk Testi

Yapılan tüm deneme çalışmalarının ardından plakaların görsel uygunlukları kontrol edilmiştir. Görsel uygunluk, plakadaki kaplamaların yekpare ve sürekli olmasıyla ilişkilidir. Kaplama kusurları, boya kabarmaları, boya akıntıları, pürüzlülük, çatlak ve çizik oluşumları gözlenmemelidir. Referans alınan görsel uygunluk için kaplama örnekleri Şekil 3 ve 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Görsel Olarak Uygun Referans Kaplama Örnekleri



Şekil 4. Görsel Olarak Uygun Olmayan Referans Kaplama Örnekleri

2.2.2 Kuru Yapışma Testi

Test yapılacak kaplamalı yüzey, kesici bir alet (cross-cut bıçağı) yardımıyla, kaplamasız yüzeye ininceye kadar sabit bastırma kuvveti uygulanarak, düz ve görülebilir bir şekilde çizilir. Çizilen yüzey üzerine kendinden yapışkanlı bir bant (TESA 4657) yapıştırılır. Yapıştırılan bant, elle hızlı bir şekilde yüzeyden yukarıya doğru kuvvet uygulanarak kaldırılır. Bandın çekilerek kaldırılması sonrasında elde edilen yüzey görünümü, yüzey değerlendirmeleri standartlara göre kontrol edilir. Kuru yapışma testi DIN EN ISO 2409 standardına göre yapılmakta olup ve Tablo 4'te verilen tanımlara göre değerlendirilmektedir. Kuru yapışma testinin başarılı olarak değerlendirilebilmesi için sonucun Ad0 olması gerekmektedir.

Tablo 4

Sınıf	Açıklama	Gösterim
Ad0	Kesik kenarlar mükemmel bir biçimde düzdür; karelerde boya kalkması yok.	--
Ad1	Kesişme noktalarında kırılmış küçük parçalar; karelenmiş yüzeyden %5 kalkma var.	
Ad2	Karelerin kesişme noktalarında veya karelenmiş yüzeyden %5 den fazla, %15'ten az kalkma var.	
Ad3	Kesik kenarlar boyunca kırılmanın kısmi veya karelenmiş yüzeyden %15'ten fazla %35'ten az kalkma var.	
Ad4	Geniş şeritler veya tek karelerden tamamen veya karelenmiş yüzeyden %35'ten fazla %65'ten az kalkma var.	

2.2.3. Su Direnci Testi

Su direnci testi, kaplamanın metal yüzeyine veya kaplamaların birbirine yapışıp yapışmadığını belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Su direnci testi DIN EN ISO 2812-3/Kısım 2'ye göre yapılmakta ve DIN EN ISO 4628-1 standardına göre değerlendirilmektedir. Test, kaplamalı parçanın, 60±2°C sıcaklıktaki deiyonize suya, 24 saat süreyle batırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Sürenin sonunda çıkarılan parça, kurutma kâğıdı ile kurulanır ve iki saat süreyle ortam koşullarında bekletildikten sonra yapışma direnci testine tabi tutulur. Kaplanan parçanın yapışma direnci testinden başarılı olabilmesi için test sonucunun Ad0 olması ve kaplamanın renginde herhangi bir değişim olmaması gerekmektedir.

2.2.4. Nem Testi

Nem testi, kaplamanın metal yüzeyine veya kaplamaların birbirine yapışıp yapışmadığını belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Nem direnci testi DIN EN ISO 6270-2 standardına göre yapılmakta ve değerlendirilmektedir. Test edilecek numune 40±1°C sabit sıcaklıkta, 300 saat süreyle %95 nem koşullarında bekletilmektedir. Sürenin sonunda çıkarılan parça,

kurutma kâğıdı ile kurulanır ve iki saat süreyle ortam koşullarında bekletildikten sonra yapışma direnci testine tabi tutulur. Kaplanan parçanın yapışma direnci testinden başarılı olabilmesi için test sonucunun Ad0 olması ve kaplamanın renginde herhangi bir değişim olmaması gerekmektedir.

2.2.5. Tuz Sisi Testi

Tuz sisi testi, ASTM B 117 ve DIN EN ISO 9227 standartlarına göre gerçekleştirilmektedir. Test standartlarına göre hazırlanmış plakalar kaplandıktan sonra 35°C sabit sıcaklık ve %95 nemde %5'lik sodyum klorür çözeltisini püskürten bir tuz sisi kabini içerisine yerleştirilmektedir. Kırmızı pas korozyonun metal yüzeyine ulaştığının göstergesidir. 720 saat süreyle uygulanan tuz sisi testi sonrasında lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanarak dökülme, tabakalara ayrılma, boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır ve parça yüzeyinin en çok %5'nde kırmızı pas olmalıdır. Bununla beraber boyalı yüzeye özel Cross-Cut bıçağıyla çizilen 'X' şeklindeki çizikte bulunan boya kopması maksimum 4 mm olmalıdır.

2.2.6. Çevrimsel Korozyon Testi

Çevrimsel korozyon testi EN ISO 11997-1 Çevrim B standardına göre yapılmaktadır. Söz konusu test, yedi gün süreyle devam etmekte ve Tablo 5'de verilen adımlardan meydana gelmektedir.

Tablo 5

Adım	Süre (saat)	Sıc. (°C)	Nem, %	Gözlem
1	24	35±2	Tuz Sisi	
2	8	40±2	100	Panellerde su yoğuşması
3	16	23±2	50±20	
4	8	40±2	100	Panellerde su yoğuşması
5	16	23±2	50±20	
6	8	40±2	100	Panellerde su yoğuşması
7	16	23±2	50±20	
8	8	40±2	100	Panellerde su yoğuşması
9	16	23±2	50±20	
10	48	23±2	50±20	
11		1. Adıma dön.		Adım 1'den 10'a kadar toplam çevrim sayısı 7 gündür.

Çevrimsel korozyon testleri nem, tuz, sıcaklık, kuru hava, yağmurlama gibi etki faktörlerini taklit etmek adına birbirini takip eden adımlardan oluşmaktadır. Bir aracın gerçek hayatta karşılaşılabileceği tüm çevre koşulları hızlı ve kontrol edilebilir bir test cihazında test edilmektedir. Çevrimsel korozyon testi sonunda kaplanmış parçada lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanma, tabakalara ayrılma, kaplama yapışmasında kopma gibi yüzey bozukluklarının olmaması ve parça yüzeyinin en çok %5'nde kırmızı pas olması, ayrıca kaplamalı yüzeye özel cross-cut bıçağıyla

"X" şeklinde çizilen çizikte bulunan boya kopmasının en çok 4 mm olması beklenmektedir.

2.2.7. Kimyasal Direnç Testi

Kimyasal direnç testi benzin ve fren sıvısı direnci testleri olmak üzere iki farklı test olarak gerçekleştirilmektedir. Testler, EN ISO 2812-3 standardına göre gerçekleştirilmektedir.

Benzin direnci testi DIN EN ISO 2812-3/Kısım 3 standardına göre yapılmakta ve DIN EN ISO 4628-2 standardına göre de değerlendirilmektedir. Test edilecek parça etüvde $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta ve 30 dakika süreyle bekletilmektedir. Etüvden çıkarılan parça, 10° eğimli olacak şekilde sabitlenir ve sıcak parça yüzeyine %80 benzin ve %20 etanol'den oluşan 5 ml'lik karışım 1 dakika içerisinde kısa aralıklarla damlatılır. Parça, 5 dakika daha bu konumda bekletilir, sonra yatay düzlemde 23°C sıcaklıkta 24 saat süreyle muhafaza edilir. Bu işlemler 24 saat aralıklarla iki kez tekrarlanır. Üçüncü testin (72 saat) sonunda parçanın değerlendirilmesi yapılır. Kaplamalı parçaların yüzeyi, ilgili kimyasala maruz kaldığında renginde değişim, yapıda yumuşama, lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanma, tabakalara ayrılma ve boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır.

Fren sıvısı direnci testi DIN EN ISO 2812-3/Kısım 3 standardına göre yapılmakta ve DIN EN ISO 4628-2 standardına göre değerlendirilmektedir. Test edilecek parça etüvde $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta ve 30 dakika süreyle bekletilmektedir. Etüvden çıkarılan parça, 10° eğimli olacak şekilde sabitlenir ve sıcak parça yüzeyine 5 ml fren sıvısı olan DOT3 ya da DOT4, 1 dakika içerisinde kısa aralıklarla damlatılır. Parça, 5 dakika daha bu konumda bekletildikten sonra yatay düzlemde 23°C sıcaklıkta 24 saat süreyle muhafaza edilir. Bu işlemler 24 saat aralıklarla iki kez daha tekrarlanır. Üçüncü testin (72 saat) sonunda parçanın değerlendirilmesi yapılır. Kaplamalı parçaların yüzeyi, ilgili kimyasala maruz kaldığında renginde değişim, yapıda yumuşama, lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanma, tabakalara ayrılma ve boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır.

3. Bulgular

Deney planı dahilinde yapılan çalışmalara ait görsel uygunluk testi sonuçları Tablo 6'de özetlenmiştir.

Tablo 6

Deney planlamasına göre görsel uygunluk değerlendirmesi sonuçları.

Deney No	Standart Plaka	Kumlanmış Plaka
1	x	x
2	x	x
3	x	x
4	x	x
5	x	x
6	x	x
7	x	x
8	x	x
9	x	x
10	x	x
11	✓	✓
12	x	x
13	✓	✓

Görsel uygunluk değerlendirmesi sonucunda uygun olarak değerlendirilen 11 ve 13 numaralı deney kombinasyonuna ait standart ve kumlanmış plakalara uygulanan kuru yapışma, su direnci, nem direnci, tuz sisi, çevrimsel korozyon ve kimyasal direnç testlerinden el edilen sonuçlar Tablo 7'de özetlenmiştir.

Tablo 7

Görsel uygunluğu olan standart ve kumlanmış plakaların test değerlendirme sonuçları.

Deney No	11		13	
	Standart	Kumlanmış	Standart	Kumlanmış
Plaka Türü	✓	✓	✓	✓
Kuru Yapış.	✓	✓	✓	✓
Su Direnci	✓	✓	✓	✓
Nem Direnci	✓	✓	✓	✓
Tuz Sisi	✓	✓	✓	✓
Çevr. Korozyon	✓	✓	✓	✓
Kim. Direnç	✓	✓	✓	✓

Görsel uygunluk değerlendirmesinin sonucuna göre yapılan testler sonucunda hem 11 hem de 13 numaralı kaplama kombinasyonları tüm testlerden başarıyla geçmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında konuyla ilgili yapılan patent başvurusu sonucunda Türk Patent Ofisinden 2017/11105 başvuru numarasıyla patent alınmış olup, söz konusu kaplama prosesi ülkemizde üretim yapan otomotiv üreticileri tarafından hızla değerlendirilerek uygulanmaya ve teknik şartnamelerinde yer almaya başlamıştır.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Yapılan tüm kaplama çalışmalarında, görsel uygunluk değerlendirmeleri ve test sonuçlarının sonrasında yapılan değerlendirmeler sonucunda hem su bazlı hem de çözücü bazlı çinko lamelli kaplamaların kataforez kaplamayla uyumlu olmadığı gözlenmiştir. Bunun nedeni kataforez kaplamanın hidrofobik özellikte olup, mevcut yüzey geriliminin çinko lamelli kaplama

çözeltisiyle yeterince temas etmesini engelleyerek uygun reaksiyon düzlemini oluşturamamasıyla açıklanabilir.

Kataforez kaplama üzerine yapılan hem son kat hem de kayganlaştırıcı uygulamasının olduğu standart ve kumlanmış plakalar görsel uygunluk ve test değerlendirmelerinden başarıyla geçmiştir. Bu kaplamalar içerisinde en yüksek korozyon performansını 11 no'lu deney kombinasyonundaki kataforez kaplama üzerine son kat kaplama uygulaması göstermiştir. Söz konusu kaplama 1200 saatten daha uzun süren tuz sisi testinden ve 63 çevrimlik çevrimsel korozyon testinden başarılı olmuş üstün özellikli bir kaplama kombinasyonudur.

Otomobil üreticilerinin teknik şartnamelerinde belirttiği ve hem tuz sisi hem de çevrimsel korozyon testlerindeki istekleriyle kıyaslandığında çalışmamız kapsamında üretilen kaplamaların, otomobil üreticilerinin isteklerinden daha yüksek performans göstermiştir.

Tablo 8'deki firma isimleri ticari bilgi olması sebebiyle saklı tutularak verilmiş ve çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz korozyon testi sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

Tablo 8

Otomobil üreticilerinin korozyon testlerine ait beklentileri ve çalışmamızdan elde edilen sonuçlar

Firma	Tuz sisi	Çevrimsel Korozyon	Deney No. 11 Tuz Sisi Testi Sonucu	Deney No. 11 Çevrim Testi Sonucu
A	-	35 çevrim		
B	750 saat	30 çevrim		
C	500 saat	9 hafta çevrim	>1200 saat	63 çevrim
D	750 saat	60 çevrim		
E	840 saat	50 çevrim		

Bunun da ötesinde çalışmanın patentlenmiş olması ve önemli otomobil üreticilerince kataforez kaplama şartnamelerinde yer verilmesi çalışmamızın olumlu olarak değerlendirilmesi için çok önemlidir.

Su bazlı çinko lamelli kaplamaların, kataforez kaplamayla birlikte kullanılabilmesi için kataforez kaplamaya hidrofilik özellik kazandırılması gerekmektedir. Bunun için kataforez kaplamanın kürlenme sıcaklığı, katı/kül bağlayıcılık oranı gibi parametreler değiştirilerek kataforezin hidrofilik özelliği araştırılmalıdır. Çözücü bazlı kaplamaların günümüzde otomotiv endüstrisinde kullanımının azaltılması hedeflenmektedir. Bu durum bundan sonra yapılabilecek çalışmalar için önemli bir motivasyon kaynağıdır.

Bu çalışma, TÜBİTAK/TEYDEB tarafından, 3170630 no.'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Muhammed KILINÇ, bilimsel yayın araştırması, deneylerin yürütülmesi ve sonuçların raporlanması; Levent AKYALÇIN, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akafuah, N. K., Poozesh, S., Salaimah, A., Patrick, G., Lawler, K. & Saito, K. (2016). Evolution of the Automotive Body Coating Process—A Review. *Coatings*, 6,24. Erişim adresi: <https://www.mdpi.com/2079-6412/6/2/24>

Holmes, A. L., Wise, S. S. & Wise, J. P. (2008). Carcinogenicity of hexavalent chromium. *The Indian Journal of Medical Research*, 128 (4), 353–372. Erişim adresi: <https://digitalcommons.usm.maine.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=appmedsci>

ISO 10683:2000(en)-Fasteners-Non-Electrolytically Applied Zinc Flake Coatings. Erişim Adresi: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10683:ed-1:v1:en>, (06.07.2018).

Kılınç, M. (2019). *Kataforez Kaplama Üzerine Solvent Bazlı ve Su Bazlı Lamelli Kaplama Uygulamaları ile Oluşacak Dupleks Kaplamanın Korozyon ve Ömür Testine Etkisinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Narayanan, T. S. N. S. (2005). Surface Treatment by Phosphate Conversion Coatings – A Review. *Reviews on Advanced Material Science*, 9, 130-177. Erişim adresi: https://www.ipme.ru/e-journals/RAMS/no_2905/narayanan.pdf

Toxicological Review Of Hexavalent Chromium. (1998). Erişim adresi: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0144tr.pdf, (14.01.2019).

Zink Flake Coatings. Erişim Adresi: https://www.fabory.com/en/knowledge_center/technical/surface_treatments/zinc_flake_coatings, (15.05.2019).

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE BOND GRINDABILITY TEST AND THE STATIC AND DYNAMIC STRENGTH OF ROCKS

Yakup UMUCU^{1*}, Y. Hakan GÜRSOY²

¹ Eskişehir Osmangazi University, Mining Engineering Department, Eskişehir,
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-6317-4070>

² Eskişehir Osmangazi University, Mining Engineering Department, Eskişehir,
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-8987-7818>

Keywords	Abstract
Grinding, Bond Work Index, Hopkinson dynamic tests, Static compressive strength	<i>The Bond method is widely used in the design of grinding circuits in an ore preparation plant, sizing of mills, determining power requirements, determining and measuring performance, and for materials considered for comminution. Its use as a standard is very common in the industry as it provides satisfactory results in all industrial applications. The dynamic method was developed as an alternative to static methods in determining the mechanical properties of materials. There are studies investigating the static and dynamic properties of materials and revealing the relationship between these parameters. Previously, a lot of work was done between mechanical tests and grinding. However, in these studies, the relationships were only revealed with equations. Research, which is a mechanical property closest to the grinding mechanism, was not conducted. In this study, the relationship between grinding and static and dynamic compressive strength was investigated. Dynamic compressive strength was also determined by the Hopkinson dynamic test. For the first time, the relationship between grinding and compressive strength based on the Hopkinson dynamic test was demonstrated. A relationship with a value of $R^2:0.82$ and 0.738 was obtained between grindability and compressive strength depending on the Hopkinson dynamic test.</i>

KAYAÇLARIN BOND ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK TESTİ İLE STATİK VE DİNAMİK DAYANIMI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

Anahtar Kelimeler	Öz
Öğütme, Bond İş İndeksi, Hopkinson dinamik test, Statik basınç dayanımı	<i>Bir cevher hazırlama tesisindeki öğütme devrelerinin tasarımında Bond yöntemi, değirmenlerin boyutlandırılmasında, güç ihtiyacının belirlenmesinde ve performans belirleme ve ölçümünde ufulanması düşünülen malzemeler için yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüm endüstriyel uygulamalarda tatmin edici sonuçlar sağladığı için bir standart olarak kullanımı endüstride çok yaygındır. Dinamik metot, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde statik metotlar için bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Malzemelerin statik ve dinamik özelliklerini araştıran ve bu parametreler arasındaki ilişkiyi ortaya koyan çalışmalar mevcuttur. Daha önce mekanik testler ile öğütme arasında birçok çalışma yapılmıştır. Ancak bu çalışmalarda sadece ilişkiler denklemlerle ortaya konmuştur. Hiç birisinde öğütme mekanizmasına en yakın mekanik özellik hangisinin olduğu konusunda bir araştırma yapılmamıştır. Bu çalışmada öğütme ile statik ve dinamik basınç dayanımı arasında ilişki araştırılmıştır. Dinamik basınç dayanımı da Hopkinson dinamik test ile belirlenmiştir. İlk defa öğütme ile Hopkinson dinamik teste bağlı basınç dayanımı arasında ilişki ortaya konmuştur. Öğütülebilirlik ile Hopkinson dinamik teste bağlı basınç dayanımı arasında $R^2:0.82$ ve 0.738 değerine sahip bir ilişki elde edilmiştir.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 19.08.2021	Submission Date : 19.08.2021
Kabul Tarihi : 18.10.2021	Accepted Date : 18.10.2021

* Sorumlu yazar; e-posta : yakup.umucu@ogu.edu.tr

1. Introduction

The bond work index values determine the grinding resistance of the materials and the energy consumption. The work index of a material is expressed as the amount of energy required to reduce 80% of the theoretically infinite size of the ore below 100 microns. The Bond method is mostly used in the design of grinding circuits and mills to determine the power requirements of the mills and evaluate the performance of the operating system (Austin and Brame, 1983). Because this test for the grindability and Bond work index of materials is long and tiring, methods have been proposed by many researchers to make the process easier (Berry and Bruce, 1966; Smith and Lee, 1968; Horst and Bassarear, 1976; Kapur, 1970, Karra, 1981; Magdalinović, 1989). Some of these methods require a Bond mill, while others use any laboratory mill.

However, the methods presented in all these studies require a series of studies based on grinding and sieve analysis, and also require experienced and skilled personnel. Almost all of these grinding-based experiments required a lot of work and time. Because of the difficulty in determining of this index, alternatives to the standard method have been developed by many researchers. For example, Deniz and Özdağ (2003) have investigated the effect of elastic parameters on grinding and the relationship between them.

As it is known, the blasting technique, primary crushing, secondary crushing, and grinding stages applied in both ore production and excavation work are size reduction processes. Compression, tensile, and shear stresses that are effective on the rock mass, rock fragment, and rock sample during the size reduction processes are effective in the specified activities. Since there are common parameters that are effective in all activities, it can be thought that some of the experimental studies carried out on rocks and samples are related to each other, and it may be possible to predict the results of the tests, which are more difficult and costlier, with simpler and more economical test methods (Bearman, Briggs and Kojovic, 1997).

The Hopkinson pressure bar system was first proposed by Hopkinson (1914) and developed by Kolsky (1949). Researchers have widely used the Hopkinson pressure bar system to study the behavior of solid materials under dynamic pressure at high strain rates (Kumar, Mies, and Pengjun, 2004; Xia, Nasser, Mohanty, Lu, Chen and Luo, 2008; Dai, Xia and Tang, 2010).

Dynamic testing techniques in different experimental equipment stand out with its advantages, such as repeatability of measurements and relatively accurate results. There are two pressure bar assemblies for the Hopkinson pressure bar experiment; The Split Hopkinson pressure bar (SHPB) and the single Hopkinson pressure bar. Although both techniques are

the same in principle, the dynamic load is first applied through two long bars and, secondly, it is made directly by a striker bar. SHPB is more widely used. SHPB is more widely used. The striking bar is accelerated by methods such as compressed air, pendulum, or explosive, and the impact is produced (Tüfekçi, 2008).

Yavuz, Tüfekçi, Kayacan and Cevizci (2012), state that the mechanical strength of the rock against the resistance of a grinding relationship can be expected. If this relationship can be identified correctly, the prediction of Bond Index Values and breakage characteristics will be of great importance from the material strength properties because of materials.

In previous studies, the relationships between static tests and grindability were investigated for rocks. In this study, the relationship between the Hopkinson test, which is in the dynamic test group, and grindability was investigated. For the first time in this study, static or dynamic tests were used represent the grinding mechanism well. For this purpose, first static and dynamic tests were carried out on the samples, and then grindability tests were conducted. As a result, the relationship between dynamic testing and grindability was found to be higher.

The aim of this study is to investigate the behavior of rock material under dynamic and static conditions and establish relations between these properties and Bond Grindability, Bond Work Index, and the research has been prepared by analyzing in accordance with publication ethics.

2. Background

2.1. The Standard Bond Grindability Test

The most widely known measure of grindability is Bond Work Index (BWI) which was defined as the resistance of the material to grinding and quantified the specific work input (kWh/t) required to reduce the material from theoretically infinite size to 80% passing 0.106 mm (Bond, 1961; Yap, Sepulude, and Jauregui, 1982).

Deniz and Özdağ (2003) carried out ultrasonic wave velocity and Bond Work Index experiments using sedimentary and volcanic rock samples. Dynamic elastic properties (Young's modulus, bulk modulus and shear modulus) of the samples were determined by ultrasonic wave velocity experiment. The correlation of the values they obtained was done by the rock samples of both groups separately. Accordingly, for both sedimentary and volcanic rock samples, they determined that while the dynamic Young's modulus and shear modulus increased, the grindability decreased linearly, while the Bond work index increased exponentially. They found that grindability decreased exponentially with the

increase of the bulk modulus, while the Bond work index increased linearly.

In the determination of the physico-mechanical and mechanical properties of the materials, Dynamic methods have been proposed as an alternative method to the static methods. They tried to determine the grinding energy and the breaking behavior of rocks by using the weight drop method in their experiments (Bearman et al., 1997).

2.2. Dynamic Testing Method

The mechanical behavior of materials under high deformation rates is quite different from the mechanical behavior observed under low strain rates. For this reason, it is necessary to determine the mechanical behavior of materials under dynamic loads for many engineering applications. While the deformation rate is less than 1 s^{-1} in the mechanical tests performed with conventional servo-hydraulic machines under quasi-static loads, the deformation rate obtained in the Split Hopkinson Compression Rod experimental setup, in which dynamic loads are applied, is between 10^2 s^{-1} and 10^4 s^{-1} (Yavuz et al., 2012).

Two main problems were encountered in the experiments carried out at high deformation rate with various mechanical test devices. The first of these problems was the obtaining of very little detailed data. The other problem was that the changes in the samples could not be well controlled. Kolsky (1949) has come up with a clever solution to these two problems. Instead of applying a direct impact to the sample, he placed the sample between two elastic compression bars and applied an impact to one of these bars.

The most important feature of the split Hopkinson Compression Rod experimental setup is that it generates a stress-strain graph in the range of deformation rates of 10^2 s^{-1} - 10^4 s^{-1} . However, it is not possible to obtain such a stress-strain / transformation changing graph under dynamic loads with conventional impact tests. In addition, many material types such as metal, ceramic and polymer can be tested in the SHBP experimental setup (Tüfekçi, 2008).

3. Materials and Experimental Methods

3.1. Materials

As a basis for this study, dynamic and static strength were initially measured for the five samples of sedimentary origin and the two samples of metamorphic origin. Secondly, Standard Bond Grindability tests were carried out and work indices (Wi) were calculated. The names and locations of the rocks selected for this study were given in Table 1 and the chemical properties of the samples were presented in Table 2.

Table 1.

Name and Location of The Rocks Selected for This Study (Yavuz et al., 2012).

Rock Type	Location
Limestone -I	Bilecik
Limestone -II	Burdur
Limestone -III	Antalya-Finike
Limestone -IV	Burdur-Karamanlı
Travertine	Burdur-Bucak
Marble-I	Muğla
Marblee -III	Afyon

3.2. The Analyzed Scanning Electron Microscope (SEM)

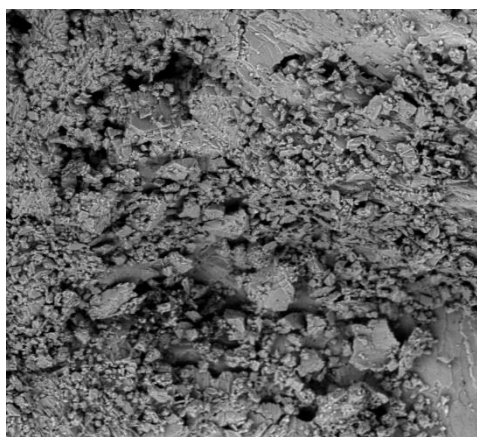
A scanning electron microscope (SEM) is a type of electron microscope that produces images of a sample by scanning the surface with a focused beam of electrons. The electrons interact with atoms in the sample, producing various signals that contain information about the surface topography and composition of the sample. The electron beam is scanned in a raster scan pattern, and the position of the beam is combined with the intensity of the detected signal to produce an image. In the most common SEM mode, secondary electrons emitted by atoms excited by the electron beam are detected using a secondary electron detector (Everhart-Thornley detector). The number of secondary electrons that can be detected, and thus the signal intensity, depends, among other things, on specimen topography. Some SEMs can achieve resolutions better than 1 nanometer. (McMullan, 2006).

SEM and mineralogical analyses were conducted as they give an idea about the grindability of the samples used in the study. SEM images obtained for analysis are shown in Figure 1-7. In addition, the geological analysis of the samples also contributed to the SEM analysis.

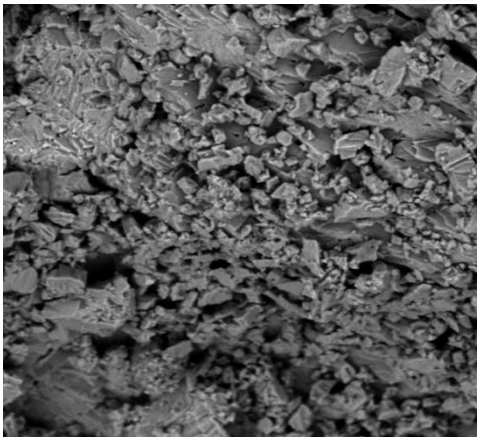
Table 2.

Chemical Composition of Samples Used in Experiments

Oxides	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
Limestone –I	53.50	1.25	0.03	0.55	0.40	0.01	0.01	0.00	42.03
Limestone –II	54.55	0.26	0.33	0.32	0.31	0.03	0.01	0.01	42.07
Limestone –III	57.28	0.15	0.01	0.12	0.23	0.02	0.01	0.01	42.20
Limestone –IV	55.42	0.08	0.35	0.22	-	0.03	0.01	0.01	42.15
Travertine	54.55	0.26	0.29	0.32	0.31	0.02	0.01	0.01	42.73
Marble-I	55.43	0.52	0.13	0.04	0.28	0.00	0.01	0.00	42.02
Marble -III	55.72	0.27	0.07	0.03	0.22	0.00	0.01	0.00	42.13



SEM HV: 10.00 kV SEM MAG: 1.60 kx
Date(m/d/y): 07/26/13 Det: BSE Detector
View field: 143.98 µm SEM

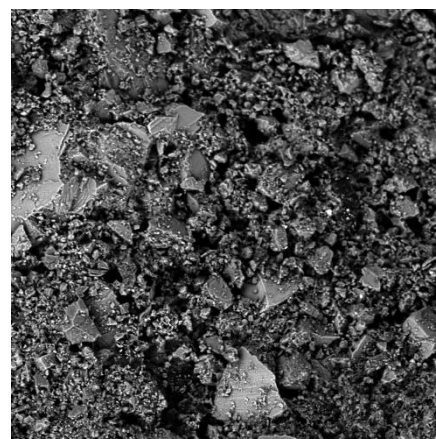


SEM HV: 10.00 kV SEM MAG: 3.00 kx
Date(m/d/y): 07/26/13 Det: BSE Detector
View field: 72.18 µm SEM

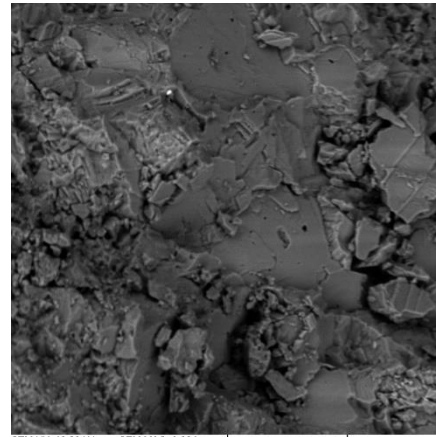
Figure 1. SEM Photographs of Limestone-I Sampling in 50 and 20 Microns

According to SEM analyses and geological analyses, it was observed that the structure is mostly found to contain Ca and rarely contains Si. However, an open

pore and the beginning of the first fracture on the surface can be observed for Limestone-I.



SEM HV: 10.00 kV SEM MAG: 1.50 kx
Date(m/d/y): 07/26/13 Det: BSE Detector
View field: 144.21 µm SEM



SEM HV: 10.00 kV SEM MAG: 3.00 kx
Date(m/d/y): 07/26/13 Det: BSE Detector
View field: 72.18 µm SEM

Figure 2. SEM Photographs of Limestone-II Sampling in 50 and 20 Microns

In SEM analyses, it has been observed that Limestone-II fracture planes of Si content are low in porosity and thereby Limestone-II fracture planes only occur in Ca regions which is rich in content. In addition, it is said that the minerals that fill in the cracks are affected during the breakage process.

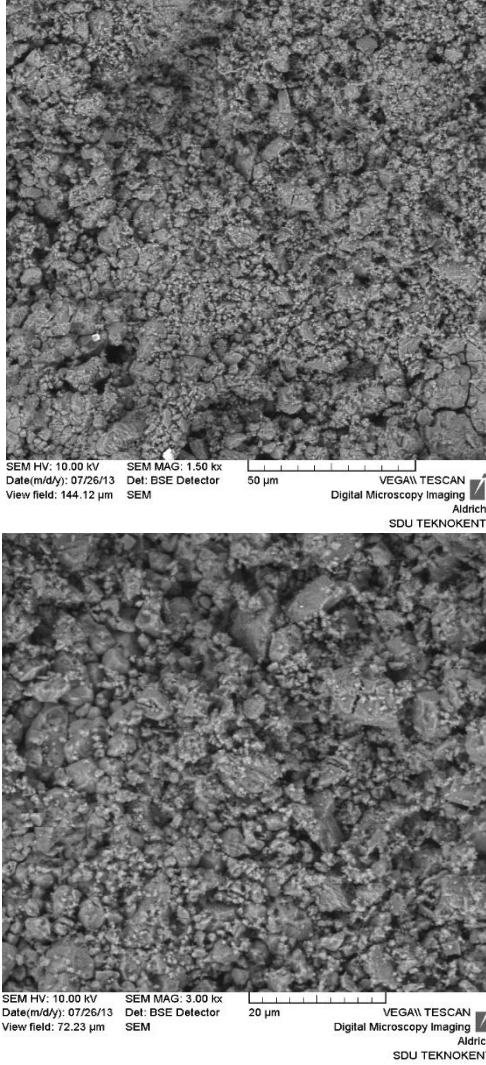


Figure 3. SEM Photographs of Limestone-III Sampling in 50 and 20 Microns

In the SEM studies for Limestone-III, it has been observed that it is rich with Ca content towards the internal structure of the rock, but the surface appears to occur in a broken-crack formation.

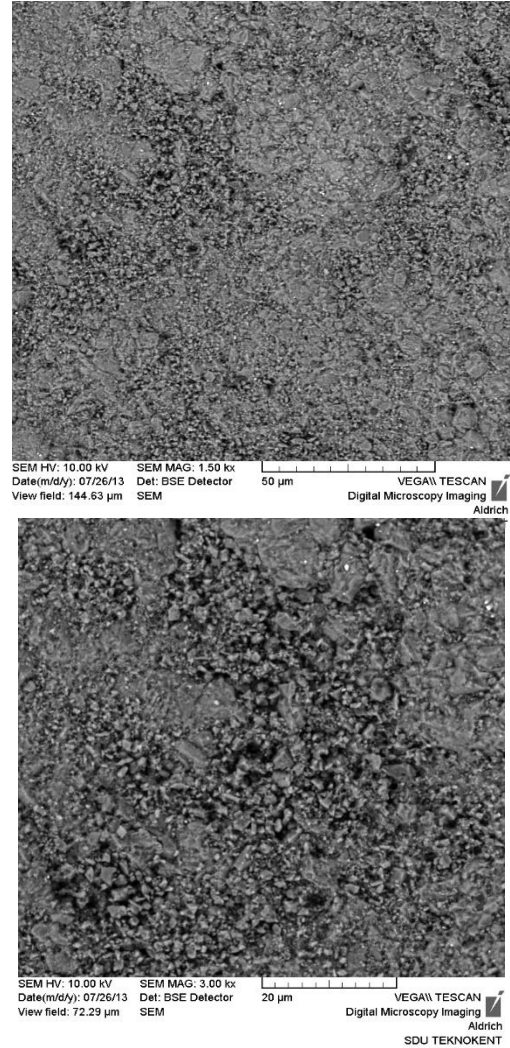


Figure 4. SEM Photographs of Limestone-IV Sampling in 50 and 20 Microns

In the studies, the Si content in the limestone-IV has been observed. In addition, the majority of the rock is consists of Ca minerals, which is coarse and breaks the crystal structure of Ca realization of these grains, which causes the negative impacts on the results.

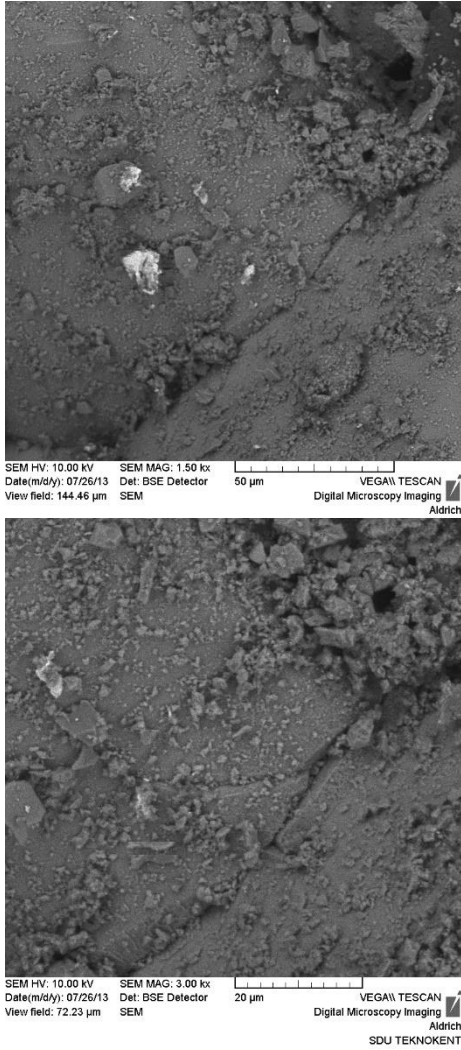


Figure 5. SEM Photographs of Travertine Sampling in 50 and 20 Microns

In the SEM analysis conducted on Travertine, it has been observed that fine Si grains and have a porous structure. On the other hand, the rock may have a porous structure. However, quartz grains detected in fine grain size may make comminution difficult. It will be harder for the material to break when there are small particles in the pores during grinding.

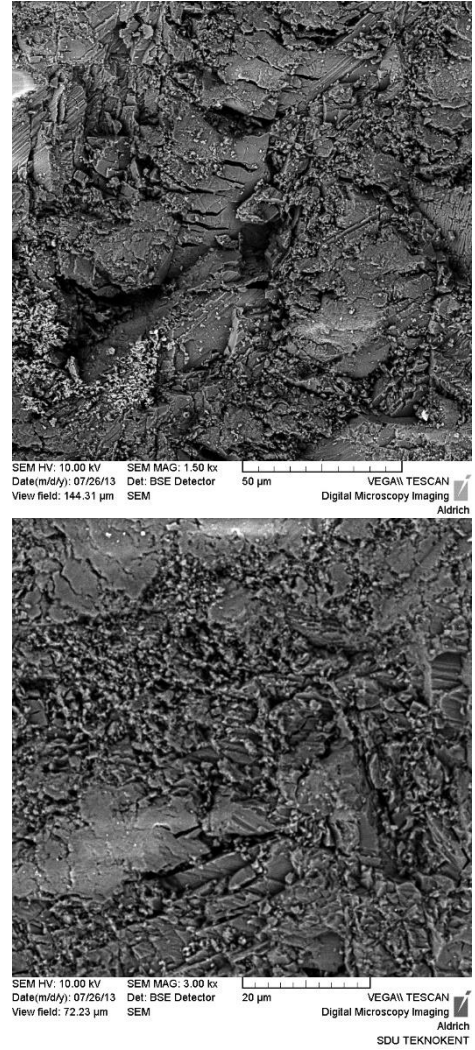


Figure 6. SEM Photographs of Marble-I Sampling in 50 and 20 Microns

In SEM studies on Marble-I, it has been observed that Marble-I has the structure of crystalline rock and ruptures occur along the crystal planes. However, fine-grained products are identified as a result of a broken crack formation.

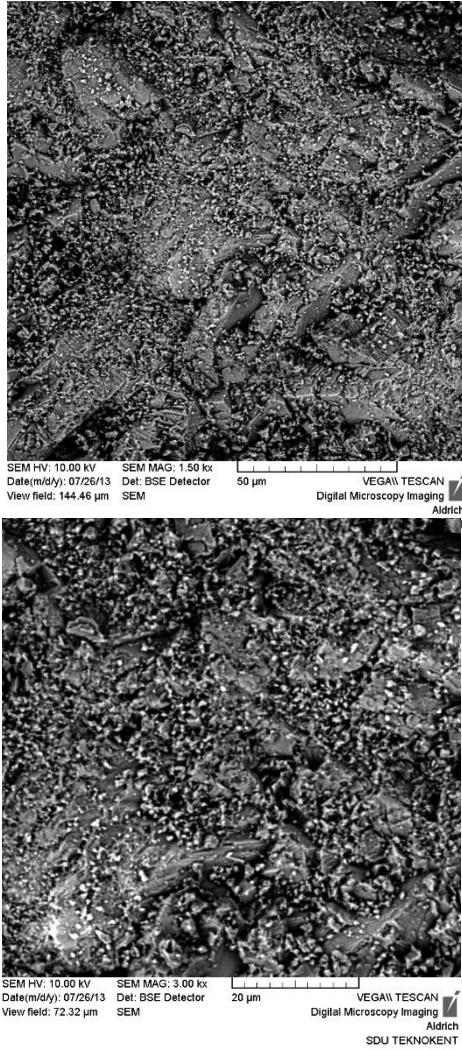


Figure 7. SEM Photographs of Marble III sampling in 50 and 20 Microns

In studies, it has been observed that Marble-III has a similar structure to Marble-I, but it crystallizes in small pieces. As a consequence, the fine particles are produced as a result of disintegration, which causes lower friability.

3.3. The Test of Standard Ball Mill Bond Grindability

The samples, from which SHPB measurements are taken, are crushed in a laboratory scale jaw crusher, and then the standard Bond grindability test is performed. The Bond work index values (W_i) are calculated from equation (1) below.

The standard Bond grindability test is a closed-cycle dry grinding in a standard ball mill (30.5x30.5 cm) and screening process, which is carried out until a steady state condition is obtained (Figure 8). This test was described as follows (Bond and Maxson, 1943; Yap et al., 1982; Austin and Brame, 1983; Magdalinovic, 1989).

The material, which was under 3.35 mm, was packed into a 700 cc volume using a vibrating table. This is the volumetric weight of the material to be used for grinding tests. For the first grinding cycle, the mill is started with an arbitrarily chosen number of mill revolutions. At the end of each grinding cycle, the entire product is discharged from the mill and is screened on a test sieve (P_i). The standard choice for P_i is 106 microns. The oversize fraction is returned to the mill for the second run together with fresh feed to make up the original weight corresponding to 700 cc. The weight of product per unit of mill revolution, called the ore grindability of the cycle, is then calculated and used to estimate the number of revolutions required for the second run to be equivalent to a circulating load of 250%. The process is continued until a constant value of the grindability is achieved, which is the equilibrium condition. This equilibrium condition may be reached in 6 to 12 grinding cycles. After reaching equilibrium, the grindabilities for the last three cycles are being averaged. The average value was taken as the standard Bond grindability (G_{bg}).

The products of the final three cycles are combined to form the equilibrium rest product. A sieve analysis is carried out on the material and the results are plotted in order to find the 80% passing size of the product (P_i).



Figure 8. Standard Bond Ball.

$$W_i = 1.1 * \frac{44.5}{P_i^{0.23} * G_B^{0.82} * \left[\left(\frac{10}{\sqrt{P_{80}}} \right) - \left(\frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right) \right]} \quad (1)$$

Where W_i is the work index (kwh/t); P_i , screen size at which the test is performed (106 µm); G_B , Bond standard ball mill grindability, net weight of ball mill product passing sieve size P_i produced per mill revolution (g/rev); P_{80} , sieve opening which 80% of the product passes (µm) ; F_{80} , sieve opening which 80% of the feed passes (µm).

Table 3.

Grindability Properties of Using Rocks

Rock Name	Wi (Kwh/t)	G (g/rv)
Limestone -I	12.56	1.39
Limestone -II	11.99	1.54
Limestone -III	6.30	3.28
Limestone -IV	15.02	1.23
Travertine	7.66	2.73
Marble-I	8.71	2.52
Marble -III	7.17	3.39

Although the origins of rocks used in experimental studies are the same, Bond grindability and Bond Work Index values are different. Bond grindability of Limestone-III rock was determined as easy. The main reason for this is the rock’s high porosity.

In experimental studies, the Bond Grindability of Lim-IV rock is the most difficult of the samples. The biggest reasons for the low Bond grindability is the porosity of the sample, which is based on the solid rock texture.

Although the rocks of Marble-I and Marble-III are the same type, there are differences in comminution characteristics. The reason for this condition is that Marble-III has a bigger crystals structure than Marble-I.

3.4. Dynamic Testing Conditions

Laboratory tests were used in this study to take Figure 9. For each rock type testing group, seven samples were prepared by water jet cutting. Samples for dynamic tests were cylindrical in shape with diameter 18 mm and thickness 11 mm. The ratio of sample thickness to diameter was about 0.6, which was favorable to reduce the inertial effect and end effector. Sample faces were parallel to each other and perpendicular to the central vertical axis. In order to reduce the effect of friction on the boundary measured strength, the bar-sample interfaces were lubricated with grease. A thin copper (Cu 11000) disc in each test was used as a pulse shaper and was placed on the center of the impact surface of the incident bar with a light coating of grease. The round copper disc used was 6 mm in diameter, 0.8 mm in thickness and was annealed in an oven for 2 hours at 400 °C (Yavuz et al., 2012).

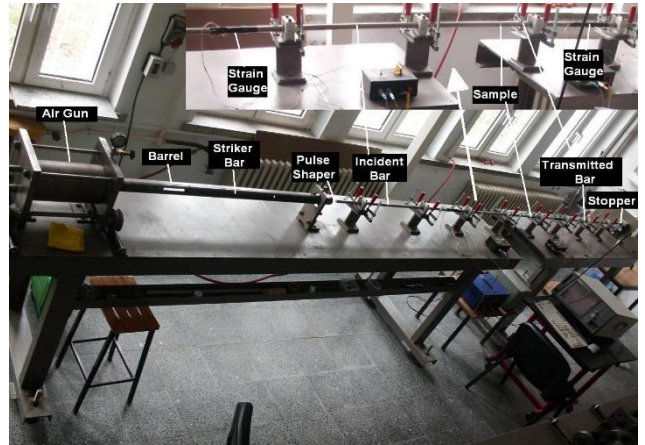


Figure 9. SHPB Equipment Used in This Study for Dynamic Compression Testing (Yavuz et al., 2012).

The strain rate was calculated from the flat level of the strain rate-time curve for all samples, and the average values with minimum and maximum values for each rock type are given in Table 3.

Table 4.

Static and Dynamic Compressive Strength of Rocks (Yavuz et al., 2012).

Rock Name	Static compressive strength (kg/cm ²)	Dynamic compressive strength (kg/cm ²)
Limestone -I	126.00	225.00
Limestone -II	119.00	220.00
Limestone -III	43.00	103.00
Limestone -IV	100.00	185.00
Travertine-II	36.00	110.00
Marble-I	60.00	118.00
Marble -III	54.00	125.00

4. Results and Discussion

From the test results, correlations for all samples were obtained for different geological origins. Later, relationships between static and dynamic compressive strength values of rocks and Bond grindability and work index are shown in Fig. 10-11.

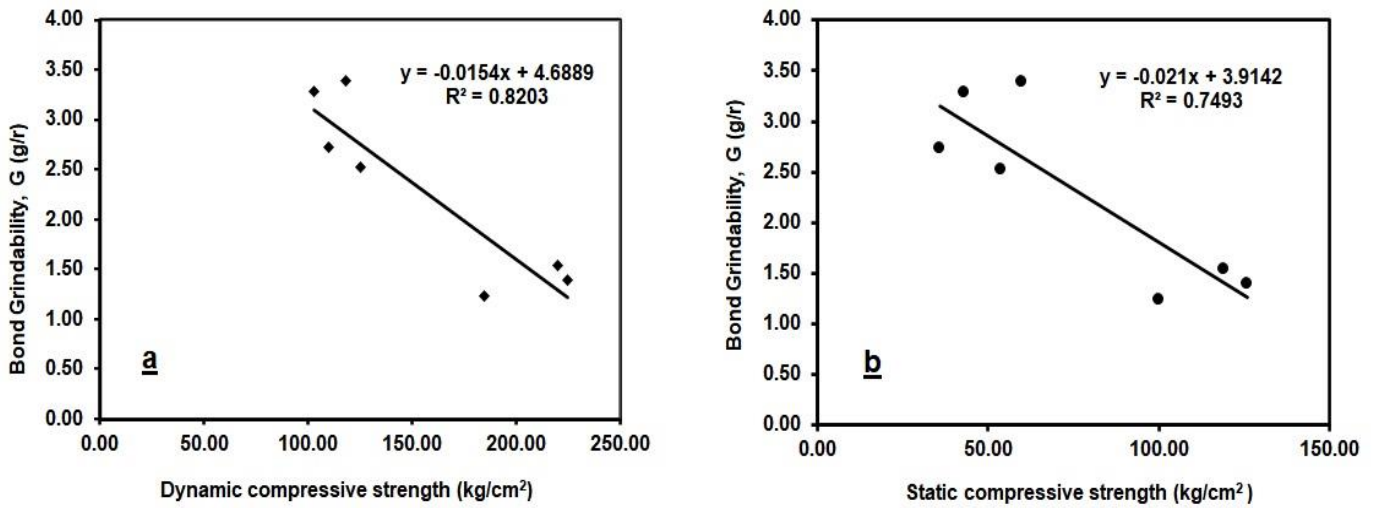


Figure 10. a) Relationships Between G_{bg} and Static Compressive Strength Values of rocks
 b) Relationships Between G_{bg} and Dynamic Compressive Strength Values of rocks.

$$G_{bg} = -0.0154 \text{ DCS} + 4.6889 \quad R^2 = 0.820 \quad (2)$$

$$G_{bg} = -0.021 \text{ SCS} + 3.9142 \quad R^2 = 0.749 \quad (3)$$

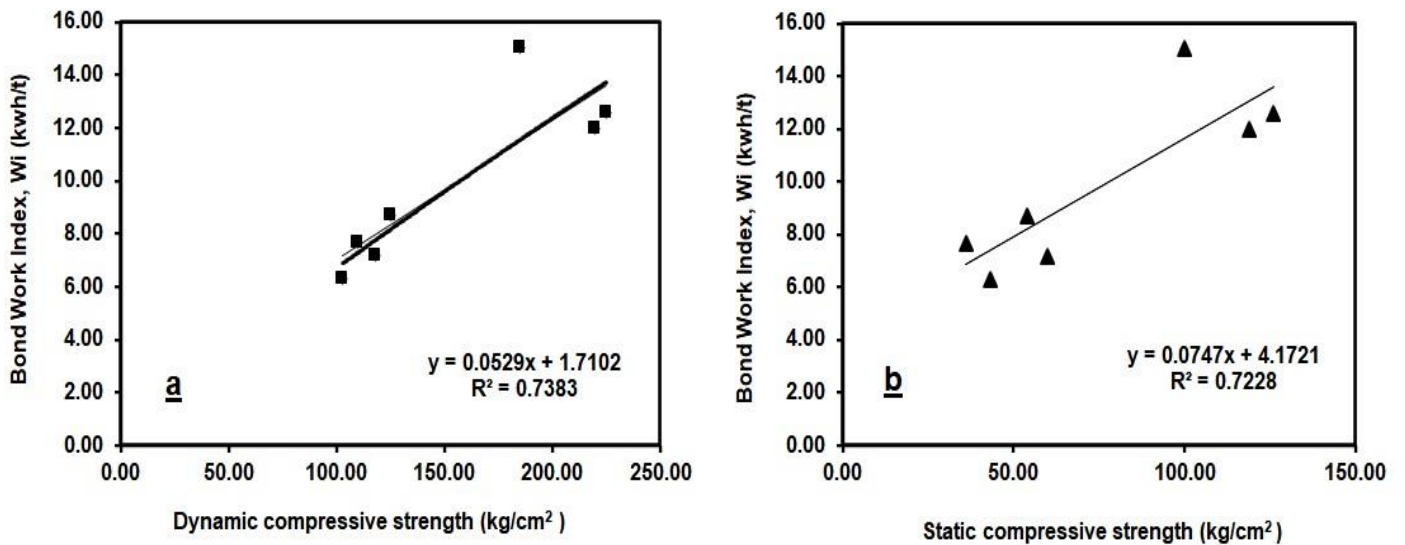


Figure 11. a) Relationships Between Bond Work Index and Static Compressive Strength Values of rocks
 b) Relationships Between Bond Work Index and Dynamic Compressive Strength Values of rocks.

$$\text{BWI} = 0.1144 \text{ DCS}^{0.884} \quad R^2 = 0.738 \quad (4)$$

$$\text{BWI} = 0.8673 \text{ SCS}^{0.5643} \quad R^2 = 0.723 \quad (5)$$

When the two graphs are observed, the relationship between Bond Grindability and dynamic compressive strength has a higher correlation than static

compressive strength. The most important reason for the relationship is that the dynamic compressive

strength is greater; more effective than the static compressive strength in the tumbling mill.

5. Conclusions

The purpose of this study was to show the correlation between grindability and dynamic parameters.

In this study, measurements were taken from five sedimentary and two metamorphic samples, totaling seven samples. The best correlation was found between grindability and dynamic compressive strength, with $R^2=0.820$ for G_{bg} and $R^2=0.827$ for BWI.

In the dynamic test results, it was determined that the stress increase per unit time in the samples tested under the same conditions was higher in the samples of high strength than in the samples of low strength.

It has been determined that samples with massive structures have higher dynamic and static strength values, while samples with crystalline structures have low strength values. Similarly, the same situation appeared in the grindability values. The samples had a massive and homogeneous mineralogical cement, which was found to have high resistance to comminution. The energy required for comminution is higher. It can be expressed as the abrasion of materials by rubbing against each other. For this reason, finding a correlation between dynamic compressive strength and grindability is realistic.

When the dynamic compressive strength values were compared, it was determined that the samples with homogeneous and massive cement structures were higher. Similar behavior was also observed in static compressive strength values. The reason for the high values in materials which have homogeneous and massive cement structure is that fragment ruptures or breakage occur at the bond points with other minerals in small amounts or on fractured-crack surfaces with small amounts. On the other hand, the breakage was as large as their diameters due to the crystalline structure of marble samples. In the travertine sample, this situation is limited to the distances between the pores. Breakage occurred along the crack surfaces.

The dynamic method has many advantages, because of its ease of use and the relatively short time required compared to the static method. Furthermore, dynamic methods are better than static methods because grinding is also a moving process, which means that dynamic methods are better.

Acknowledgement

Researchers, in "Predicting the Dynamic Compressive Strength of Carbonate Rocks from Quasi-Static Properties" of Yavuz H., Tüfekçi K., Kayacan R., Cevizci H. (2013) published in Experimental Mechanics (DOI

10.1007/s11340-012-9648-7,53(3), 367-376) would like to thank for using the Hopkinson test data and them as samples in Bond Grindability experiments and in regression analyzes in this study.

Researchers would like to thanks for mineralogical analyzes to Assoc. Prof. Dr. Şemsettin Caran.

Author Contributions

In this article, Yakup UMUCU and Y. Hakan GÜRSOY proposed the concept, designed the research, discussed the results and reviewed the manuscript.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest.

References

- Austin, L.G. & Brame, K. (1983). A comparison of the Bond method for sizing wet tumbling ball mills with a size-mass balance simulation model. *Powder Technol.* 34, 261-274. doi: [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(83\)87059-4](https://doi.org/10.1016/0032-5910(83)87059-4)
- Bearman, R.A., Briggs, C.A. & Kojovic, T. (1997). The Application of Rock Mechanics Parameters to the Prediction of Comminution Behaviour. *Minerals Engineering*, 10, 3, 255-264. doi: [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(97\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(97)00002-2)
- Berry, T.F. & Bruce, R.W. (1966). A simple method of determining the grindability of ores. *Can. Min. J.*, vol, 80, pp. 63-65.
- Bond, F.C. (1961). Crushing and Grinding Calculations. *British Chemical Engineering*, 6, 378-385, 543-548.
- Bond, F.C. & Maxson, W.L. (1943). Standard grindability tests and calculations. *Trans. Soc. Min. Eng., AIME* 153, 362-372.
- Dai, F., Xia, K. W. & Tang, L. Z. (2010). Rate dependence of the flexural tensile strength of Laurentian granite. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47 (3), pp. 469-475.
- Deniz, V. & Özdağ, H., (2003). A new approach to Bond grindability and work index: dynamic elastic parameters. *Minerals Engineering*, vol. 16, 211-217. doi: [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(02\)00318-7](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(02)00318-7)
- Horst, W. E. & Bassarear, J. H. (1976). Use of simplified ore grindability technique to evaluate plant performance. *Trans. SME- AIME. Vol. 260. 348-351.*
- Karra, V. K., (1981). Simulation of Bond grindability tests. *CIM Bull.*, 74, pp. 195-199

- Kapur, P. C. (1970). Analysis of the Bond Grindability Test. *Trans. IMM, Vol. 79, pp. C-103-108.*
- Kolsky, H. (1949). An investigation of the mechanical properties of materials at very high rates of strain. *Proc. R. Phys. Soc. B 62, 676-700.*
- Kumar, A., Mies, L.T.S. & Pengjun, Z. (2004). Design of an impact striker for a split Hopkinson pressure bar. *J., Inst. Eng. 44(1), 119-130.*
- Magdalinovic, N., (1989). A procedure for rapid determination of the Bond work index. *Int. J. Min. Process. 27, 125-132.*
- Mcmullan, D. (2006). Scanning electron microscopy 1928-1965. *Scanning, 17 (3), 175. doi:*
- Nematollahi, H., (1994). New size laboratory ball mill for Bond work index determination. *Min. Eng. (April), 352-353.*
- Smith, R.W. & Lee, K.H., (1968). A comparison of data from Bond type simulated closed-circuit and batch type grindability tests. *Trans. Soc. Min. Eng., AIME 241, 91-99.*
- Sisman, H., Altintas, M. & Ozturk, I., (1990). Relationships between seismic wave velocities and rock parameters in rock mechanics (in Turkish). *II. Rock mechanic symposium, Ankara, pp. 221-237.*
- Tüfekçi, K., (2008). Gerinim hızının kortikal kemiğin mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi. Doktora tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Isparta.*
- Xia, K., Nasser, M.H.B., Mohanty, F.Lu, B., Chen, R. & Luo, S.N., (2008). Effects of microstructures on dynamic compression of barre granite. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 45 (6), pp. 879-887. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2007.09.013>*
- Van Heerden, W.L., (1987). General relations between static and dynamic moduli of rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech., Abstr. 24, 381-385.*
- Yavuz, H., Tüfekçi, K., Kayacan, R., & Cevizci, H., (2012). Predicting the Dynamic Compressive Strength of Carbonate Rocks from Quasi-Static Properties. *Experimental Mechanics, 53:367-376 DOI 10.1007/s11340-012-9648-7*
- Yap, R.F., Sepulude, J.L. & Jauregui, R., (1982). Determination of the Bond work index using an ordinary laboratory batch ball mill; designing and installation of comminution circuits. *Soc. Min. Eng., AIME, New York, 176-203.*

DOMATES HASTALIĞI TAHMİNİ İÇİN GERÇEK ZAMANLI UYGULAMA

Doğukan DEMİRCİ¹, Esmanur SARAÇBAŞI², Emre EMRAH³, İsmail UZUN⁴, Yakup GENÇ⁵, Kemal ÖZKAN^{6*}

^{1,2,3,4} İNOSENS Bilişim Teknolojileri San. ve Tic. Ltd. Şti. GOSB Teknopark, Hightech Binası 1.Kat A8 41480 Gebze, Kocaeli

¹ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-8422-4244>

²ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-9022-7476>

³ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-8422-4244>

⁴ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-1261-0856>

⁵Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-6952-6735>

⁶Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-2252-2128>

Anahtar Kelimeler	Öz
Domates hastalığı Mobil uygulama Resnet50	Hem ülkemizde hem de dünyada vazgeçilmez bir besin kaynağı olan domates bitkilerinde görülen hastalıkların önceden belirlenmesi önemlidir. Birçok domates hastalığının erken dönem belirtileri yapraklarda görülmektedir. Bu çalışmada literatürdeki standart veri setlerine ek olarak toplanan saha verileri kullanarak domates bitkisinde yaygın olan alternaria ve mildiyö hastalıklarının yaprak imgelerinden tespiti için bir yöntem geliştirilmiştir. Derin öğrenmede sıklıkla kullanılan Resnet50 mimarisi kullanılarak geliştirilen model bitki yaprak imgelerinden hastalıkları %97 doğrulukla belirlemektedir. Bazı hastalık belirtilerinin benzer olduğu düşünüldüğünde modelin hastalık belirtilerinin iyi ayırt ettiği görülmektedir. Modelin başarısında sahadan özel olarak bu amaçla toplanan verinin büyük katkısı vardır. Geliştirilen mimari mobil cihaza uygulanmış ve sonuçları çiftçilerle paylaşmıştır.

REAL-TIME APPLICATION FOR TOMATO DISEASE PREDICTION

Keywords	Abstract
Tomato diseases Mobile application Resnet50	It is important to determine the diseases of the tomato plant, an essential food source both in our country and in the world. Most tomato disease shows early stage signs on the leaves. In this study, a method has been developed for the detection of common alternaria and mildew tomato diseases from plant leaf pictures using data collected in the field in addition to well known datasets in the literature. A model based on Resnet50 architecture, frequently used in deep learning, yields 97% accuracy in disease detection is achieved. Considering that some of the symptoms look similar, the model is able to distinguish relevant features. The data collected for disease detection purposes plays a crucial part in model accuracy. This architecture was applied to the mobile device and the results were shared with the farmers.

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 06.09.2021	Submission Date : 06.09.2021
Kabul Tarihi : 07.03.2022	Accepted Date : 07.03.2022

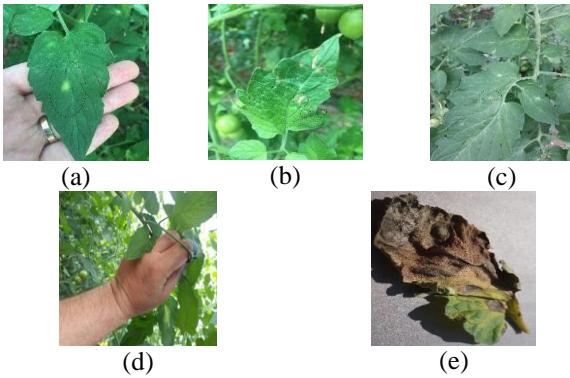
1. Giriş

Domates, Türkiye’de yaygın olarak ekilen önemli ürünlerden birisi olup, yenilebilirliği ve tıbbi değeri yüksektir. Domates yetiştirme sürecinde, ekim alanı ne kadar geniş olursa, büyük ölçekli hastalıklarla karşılaşma olasılığı da o kadar artar. Hastalık oluşması ciddi ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Birçok

domates hastalıkları erken evrelerinde yapraklarda farklı semptom gösterebilen lezyonlara neden olur. Şu anda, Türkiye’deki domates hastalıklarını belirlemenin ana yöntemi genellikle çiftçilerin deneyimleriyle hastalıkların kaba bir tahmininin yapılmasıdır. Domates hastalıklarını sınıflandırmak için insan gücünün kullanıldığı emek süreci, sadece otomasyon eksikliği değil, aynı zamanda yorgunluk ve duygu gibi subjektif

* Sorumlu yazar; e-posta: kozkan@ogu.edu.tr

faktörlerden etkilenir. Ayrıca hastalıklar ancak semptomlar ortaya çıktığında tespit edilebilir. Bu nedenle domates yapraklarının hastalıklarının hızlı ve doğru bir şekilde nasıl tespit edileceği ve uygun kontrol önlemlerinin nasıl alınacağı domates bitkilerinin etkin üretiminin sağlanması açısından önem taşımaktadır. Domates yaprağı hastalığını erken dönemde teşhis etmek için geleneksel yöntemlerde genel öznelilikler kullanılır (renk, doku, şekil vb.). Bu genel özellikler ile bitki yaprak hastalığında hastalık lekelerinin özelliklerini tanımlamak için görüntüler, hastalıklı kısım ve domates yaprağının normal kısmı değerlendirme yöntemi ile ayrılmış ve ölçüt olarak iki parçanın alan oranı hesaplanmıştır (Tao, Zhao, Xi, Yu ve Wang, 2014). Derin öğrenmenin gelişmesiyle birlikte, geleneksel yöntemlere göre öznelilik çıkarma ve tanımda bariz avantajlar ortaya çıkmıştır. Örneğin, Evrişimli Sinir Ağları (ESA), yerel bağlantı ve ağırlık paylaşımı vb. sunarak veri özelliklerini çıkarmak için ağı otomatik olarak eğitir. Bu yöntemler muz, salatalık ve domates hastalıklarının tanımlanmasında başarılı şekilde uygulanmıştır (Srdjan, Marko, Andras, Dubravko ve Darko, 2016; Zhou, Zhang, Chen ve He, 2019). Ancak farklı tanıma modellerinin yapı farklılığı ve doğal ortamın domates yapraklarının görüntüsüne etkisi başarıyı etkilemektedir. Bu nedenle, bu çalışmada ele alınan ana problemler şunlardır: (1) Domates yaprağının orijinal veri seti doğrudan ağa girdiğinde, ESA yapısı özellikleri eğitim setinden otomatik olarak öğrenebilir, ancak domates yapraklarının orijinal görüntüsündeki arka plan, gürültü ve hastalıklı bölgeyi



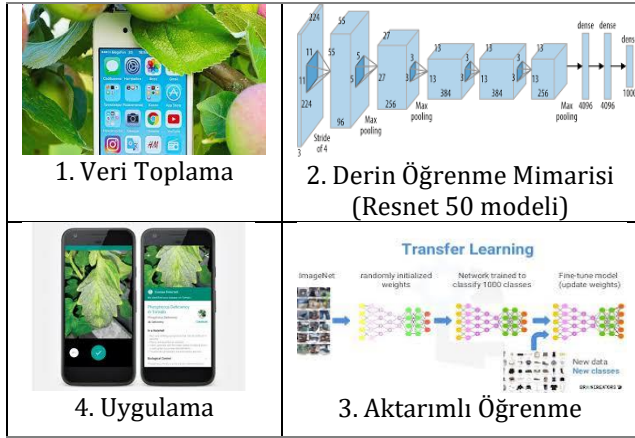
Şekil 1. Yaprak imgesinden hastalık teşhisinin zorlukları: (a) arka planın düzenli olmaması, (b) birden fazla hastalığa sahip yaprak, (c) hastalık alanının küçük olduğu yaprak, (d) çiftçi tarafından çekilen fotoğrafın görüntü işlemeye uygun olmaması ve (e) tamamen çürümüş yaprakların ayırt edici semptom içermemesi

belirleyecek özellikleri yine de yanlış özellik çıkarımına yol açabilir. (2) Ağ modelinin ayarlanması ile domates

yaprak hastalıkları bazı kategoriler (hastalıklar) arasında büyük benzerlik göstermektedir ki bu da yapay sinir ağıyla ayırt edilmesini zorlaştırır. Aynı hastalığın erken ve geç görüntü özellikleri oldukça farklıdır. Özellikle hastalığın erken evresinde hastalıklı alan küçüktür, semptomlar belirgin değildir ve ağ katmanlarından daha detaylı özelliklerin çıkarılması gerekir. Ayrıca bazı durumlarda aynı yaprakta birden fazla hastalık oluşabilmektedir. (3) Veri seti, doğal çevre ve diğer faktörler nedeniyle yeterli olmayabilir. Gerçek zaman uygulamalarında karşılaşılan zorluklar Şekil 1'de resmedilmiştir.

2. Bilimsel Yayın Taraması

Tarımsal ürünlerin imge kullanarak tanıma işlemleri son 20 yıldır hızlı bir şekilde artmıştır. Örneğin, Cui, Cheng, Dong, Liu ve Wang (2005) domates bitkisi hastalıklı yaprak görüntülerindeki renk ve doku bilgilerinden elde ettikleri özellik parametrelerini k-en yakın komşu sınıflandırıcı kullanılarak hastalık tespiti gerçekleştirmişlerdir. Geleneksel yöntem olarak isimlendirilen bu tür yaklaşımlarda tanımanın doğruluğu, özellik parametrelerinin seçiminden etkilenir. Son yıllarda seçilmesi gereken parametreleri öğrenme oranını çıktı hatasına göre dinamik olarak ayarlama ve probleme özgü model oluşturma tercih edilmeye başlanmıştır (Zhang, Lai Jing ve Lv, 2015). Örneğin, Zhang vd. (2018), bölge tabanlı evrişimli sinir ağı oluşturmak için Görsel Geometri Grubu (VGG) tarafından geliştirilen derin öğrenme mimarisi kullanarak özellikleri çıkarıcı ve yaprak hastalığı tanıma için uçtan uca derin öğrenme mimarisi sunmuşlardır. Rangarajan, Purushothaman ve Ramesh (2018) derin öğrenme ve bitki hastalıkları araştırmalarında son teknoloji model AlexNet ve VGG16 ile transfer öğrenmeyi başarılı şekilde uygulamışlardır. Derin öğrenme modelleri, tahminleri doğru bir şekilde modelleyebilmek için tipik olarak çok fazla sayıda veriye ihtiyaç duymaktadır. PlantVillage (2018) veri kümesinin kullanıma sunulmasına kadar yalnızca az veriye sahip hastalıklı veri kümeleri bulunmaktaydı (Hughes ve Salathe, 2015). Bu veri setinin yayınlanmasından sonra çalışmalar hız kazanmıştır. Bu veri setini kullanan, Brahimi vd. (2018), AlexNet ve GoogleNet gibi klasik modellerden transfer öğrenimi kullanılarak on domates hastalığı için sınıflandırma modelleri sunmuştur. Brahimi vd. (2018) PlantVillage veri kümesinin ImageNet veri kümesiyle eğitilen modelin iyileştirilmesinin sıfırdan model eğitiminden daha iyi olduğunu belirtmiştir. Kumar ve Vani'nin çalışmasında (2019), donanım uygulamaları söz konusu olduğunda, ResNet ve Xception mimarilerinin önceki yılların mimarilerine göre daha iyi sonuçlarla kullanıldığı gösterilmiştir. Sibiya ve Sumbwanyambe (2019) cep telefonu ile çekilen hastalıklı görüntülerin tanımlanması



Şekil 2. Önerilen yöntemin ana aşamaları: Toplanan veriler bir derin ağı eğitilmesinde kullanılmış ve sonuç model bir mobil uygulamaya uyarlanmıştır

ve sınıflandırılması için ESA uygulamış ve doğrulukta ortalama %92,85'e ulaşmışlardır. Durmuş, Güneş ve Kırıcı (2017), AlexNet ve Squeezenet evrişim ağını sağlıklı bitkilere ait görüntüler de dahil olmak üzere 10 çeşit domates yaprağını eğitmek için kullanmışlardır. Çalışma sonucunda derin evrişim ağına performansının sığ ağdan daha iyi olduğu, model parametrelerinin ön-eğitim ağırlığı model performansını artırdığı ve bu temelde domates yapraklarının hastalık bölgeleri belirlendiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, ağ katmanı çok derin olduğunda gradyan kaybolması veya gradyan patlaması meydana gelecektir ve ağı domates yaprağı hastalıklarına benzer problemlerde başarı oranı azalabilmektedir.

3. Yöntem

Geleneksel RGB kameralarla görüntülenen görünür özellikleri kullanan çalışmalarda, makine öğrenimi sistemleri yerine, derin evrişimli sinir ağı modelleri son yıllarda sıklıkla kullanılmıştır (Mohanty, Hughes ve Salathe, 2016; Alfarişy, Chen ve Guo, 2018). Bu çalışmada sırasıyla ilk olarak kullanılan veri seti ve bunların veri artırma yoluyla modifikasyonları verilmiş, burada veri setine yerel dönüşümler yapılmış, daha sonra kullanılan CNN mimariler eğitim aşaması için önerilen hiper parametreler açıklanmış, ardından elde edilen sonuçların performans kriterleri sunulmuştur. Son olarak elde edilen sonuçların cep telefonunda kullanılması için bir GUI tasarımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelin blok diyagramı aşamalar halinde Şekil 2'de sunulmuştur. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.1. Veri

Bu çalışmada domates için belirlenen alterna ve mildiyö hastalıklarını sınıflandırmak amacıyla ESA modelleri kullanılmıştır. Kullanılan bu modellerin başarı oranlarının artması amacıyla aktarımlı öğrenmeden

Tablo 1

Çalışmada Kullanılan Domates İmgeleri (Saha Verisi ve PlantVillage)

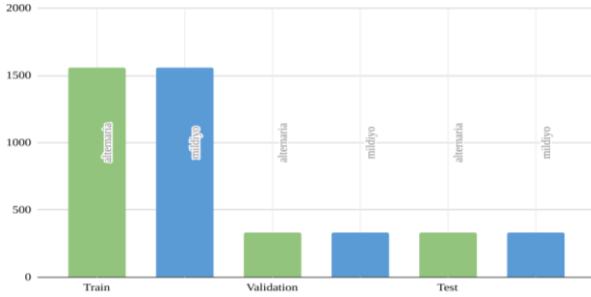
Kullanım	Hastalık	Sayı
Eğitim (%70)	alternaria	1558
	mildiyö	1558
Doğrulama (%15)	alternaria	334
	mildiyö	334
Test (%15)	alternaria	334
	mildiyö	334

yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan domates imgeleri Tablo1 ve Şekil 3 de verilmiştir. Sık uygulanan bir düzenleme tekniği olan veri artırımı da bu çalışmada da uygulanmıştır. Veri artırımı için geniş bir rotasyon (0-360), geometrik distorsiyon ve gürültü uygulanmıştır. Özellikle distorsiyon seçiminde yaprak ve kamera olası açıları dikkate alınarak geniş bir spektrumda distorsiyon oluşturulmuştur.

3.2. Model

Bu çalışmada domates için belirlenen alterna ve mildiyö hastalıklarını sınıflandırmak amacıyla ESA modelleri kullanılmıştır. Kullanılan bu modellerin başarı oranlarının artması amacıyla aktarımlı öğrenmeden yararlanılmıştır. Bu kapsamda denenen çeşitli modeller sırasıyla InceptionV3, VGG16, ResNet50 ve MobilNetV2'dir. Bunlar arasında hem test hem de doğrulama başarımları en yüksek olan Resnet50 modeli olmuştur (Şekil 4). Resnet50 modeli için hiper parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Derin öğrenme modeli olarak imge işlemede çok başarılı olarak kullanılan ResNet50 modeli kullanılmıştır. ResNet mimarisi doğrudan bağlantılar yoluyla katmanlar arasındaki öznelikleri daha etkin kullanabilen ve regularizasyon sağlayan bir yöntemdir (He, Zhang, Ren ve Sun, 2016). Bu tür bir model zengin bir veri seti gerektirdiği için genellikle aktarımlı öğrenme ile birleştirilir. ImageNet ile eğitilmiş model çalışmadaki veri setinde rafine edilmek için tekrar eğitilmiştir. Bu aktarımlı öğrenmede bütün katmanlar eğitime sokulmaktadır. Son olarak veri seti hala model için çok büyük olduğu için erken durma yöntemi (200 epok) de uygulanmıştır.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan domates imgelerin dağılımı

Tablo 2

Resnet50 Modelinin Hiper Parametreleri

Kullanılan Hiper Parametreler	Değerler
Eniyileme	Adam
Öğrenme Oranı	1e-4
Kayıp Fonksiyonu	binary_crossentropy

4. Bulgular

Önerilen yöntemin başarımı için literatürde sıklıkla kullanılan aşağıda verilen karşılaştırma yöntemleri kullanılmıştır.

Doğruluk: Bir modelin verimliliğini değerlendirmek için ana kriterdir. Daha iyi bir model, diğer modelden daha yüksek doğruluğa sahip olacaktır. Doğruluk değeri, Denklem 1 kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (1)$$

Burada; DP-Doğru Pozitif, DN-Doğru Negatif, YP-Yanlış Pozitif, YN-Yanlış Negatifi ifade etmektedir.

F1-skor: Aynı zamanda, farklı öğrenme yöntemlerinin karşılaştırıldığı popüler bir performans değerlendirme yöntemidir ve duyarlılık ve kesinliğin harmonik ortalamasıdır. F1 skoru Denklem 2 kullanılarak hesaplanır.

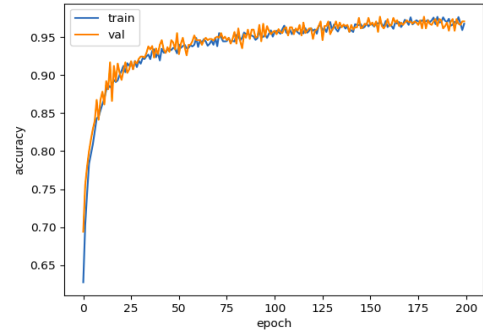
$$F1 = \frac{2 * \text{Duyarlılık} * \text{Kesinlik}}{\text{Duyarlılık} + \text{Kesinlik}} \quad (2)$$

Kesinlik ve duyarlılık denklemleri (3) ve (4)'de verilmiştir.

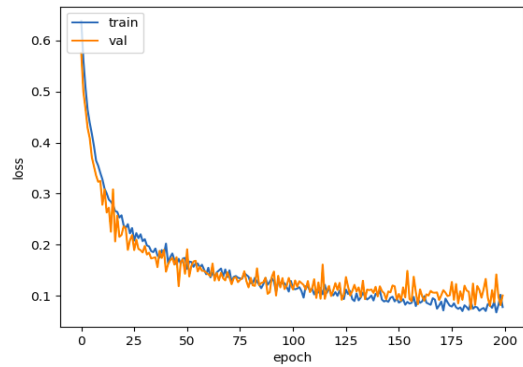
$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (3)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (4)$$

Yapay sinir ağlarında bütün eğitim verisinin bir defa eğitimde kullanılması epok olarak nitelenir. Model eğitim sırasında her epok için özellikle doğruluğun ve kullanılan kayıp fonksiyonunun değeri de bir grafik olarak sunulur. Önerilen modelin çeşitli aşamalarında elde edilen doğruluk ve hata değerleri Şekil 4'de hem eğitim hem de validasyon verileri için gösterilmektedir. Görüldüğü gibi epok sayısı arttıkça test doğruluğu artmakta ve en iyi performans 200 epok'da elde edilmekte (maksimum %97 doğruluk), ardından performans düşmeye başlamaktadır. Bu performans



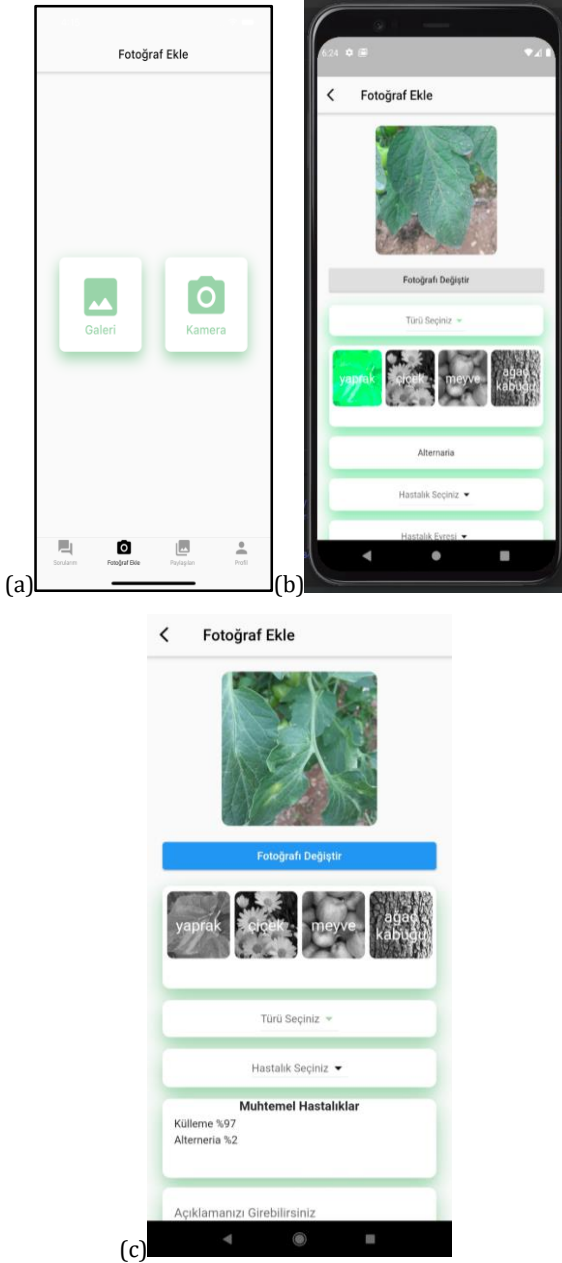
Şekil 4. Resnet50 Model Doğruluk Grafiği



Şekil 5. Resnet50 Model Kayıp Grafiği

düşüşü genel olarak modelin aşırı öğrendiğine işaret etmektedir (Tablo 3). Bireysel hastalık sınıfları için performans, Tablo 4'teki karşıtlık matrisinde gösterilmektedir. Bu matriste, köşegen öğeler doğru tahminleri gösterirken, kalan öğeler yanlış sınıflandırmaları gösterir. Örneğin, karşıtlık matrisinin ilk satırında, 312 test imgesinin 308'i doğru bir şekilde alternaria olarak sınıflandırılmış ve sadece 4 imge hatalı olarak (mildiyö) yanlış sınıflandırılmıştır. Matristen,

önerilen modelinin çoğu hastalık sınıfında doğru tahminler yapabildiği açıktır. Model oluşturulduktan sonra, mobil uygulamaya entegrasyon kısmı geliştirilmiştir. Bitkide hangi hastalık olduğunun tahminini görmek isteyen üreticinin önceden çektiği veya o anda mobil cihazından çekebileceği bir imgenin yüklenmesi istenir. Yüklenen imgenin hastalık tahmini sonucu ekranın alt tarafında gözükür (Şekil 6).



Şekil 6. Örnek mobil uygulama: (a) uygulama başlangıç ekranı, (b) fotoğraf ekleme, ve (c) tespit sonucu

5. Tartışma

Eğitim için hazır olan veri sayısı az olduğu durumlarda geleneksel makine öğrenmesi teknikleri başarıya ulaşsa da veri boyutu arttıkça derin öğrenme yaklaşımlarının geleneksel makine öğrenimi tekniklerinden daha iyi performans gösterdiği yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Diğer taraftan, aktarımlı öğrenme ile öznelik çıkarımı çok verinin olduğu bir problemde yapılırken, az verinin olduğu bir probleme hazır model kullanarak başlamak geleneksel yöntemlerden daha iyi sonuç vermektedir. Bu nedenle, önerilen derin öğrenme

Tablo 3

Resnet50 Model Başarımı

	Kesinlik	Duyarlılık	F1	Dayanak
alternaria	0.95	0.99	0.97	312
mildiyö	0.99	0.96	0.97	355
ortalama	0.97	0.97	0.97	667
ağırlıklı ortalama	0.97	0.97	0.97	667

mimarisi, yaprak görüntülerinden bitki hastalığı sınıflandırması için başarılı sonuçlar üretmektedir. Eniyileme yanında verinin hatasız olması ve az da olsa gerçek veri dağılımını dengeli yansıtmaları önemlidir. Bu çalışmada veri çok olmasa da dikkatli toplanmış ve artırılmış eğitimle son yıllarda başarılı olan derin öğrenme mimarileri probleme etkin olarak uygulanmıştır.

Tablo 4

Resnet50 Model Başarımı Karşıtlık Matrisi

Doğru \ Tahmin	alternaria	mildiyö
alternaria	308	4
mildiyö	15	340

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, domates bitkilerinde 2 tür hastalığın sınıflandırılması için diğer alternatiflerine görece hafif bir Evrişimli Sinir Ağı modeli geliştirilmiştir. Deneysel amaçla, sahadan toplanan ve hastalık dağılımını dengeli sayıya az da olsa iyi sergileyen veriler kullanılmıştır. Başarımı arttırmak amacıyla veri artırma teknikleri ile verilerin çoğaltılması yapılmıştır. Deneysel sonuçlar önerilen algoritmanın başarımını göstermektedir. Önerilen algoritmanın performansı, karşıtlık matrisi, doğruluk, kesinlik, geri çağırma, F1 skoru, vb. gibi çeşitli değerlendirme ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Önerilen algoritma ile %97 gibi yüksek bir başarımla elde edilmiştir. Gelecekteki çalışma olarak domates

bitkilerinde hastalığın şiddetinin tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Önerilen çalışma, hastalığın bitkide ne ölçüde yayıldığını göstermek için de genişletilebilir. Bununla beraber önerilen çalışma geliştirilerek, bitki büyümesinin herhangi bir belirli aşamasında ihtiyaç duyulan ilaç miktarını belirlemede yardımcı olabilir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU (TÜBİTAK TEYDEB) tarafından 3191179 proje kapsamında desteklenmiştir. Çalışmada kullanılan mobil uygulama <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.hiddenslate.mobiltarim> adresinden indirilebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Doğukan DEMİRCİ ve Esmanur SARAÇBAŞI verilerin toplanması ve önışlemlerden geçirilmesin ve bilgisayara ortamına aktarılması; Emre EMRAH gerekli olan yazılımların gerçekleştirilmesinde, İsmail UZUN, Yakup GENÇ, Kemal ÖZKAN bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, istatistiksel analizler, makalenin sonuçların hazırlanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Alfarisy, A.A., Chen, Q. & Guo, M. (2018). Deep Learning based classification for paddy pests & diseases recognition. *In: Proceedings of 2018 International Conference on Mathematics and Artificial Intelligence, ICMAI '18*, 21–25, New York/USA. <https://doi.org/10.1145/3208788.3208795>
- Brahimi, M., Arsenovic, M., Laraba, S., Sladojevic, S., Boukhalfa, K. & Moussaoui, A. (2018). Deep Learning for Plant Diseases: Detection and Saliency Map Visualisation. *Human and Machine Learning*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90403-0_6
- Cui, Y.L., Cheng, P.F., Dong, X.Z., Liu, Z.H. & Wang, S. (2005). Image processing and extracting color features of greenhouse diseased leaf. *Transaction of the Chinese Society of Agriculture Engineering* 21 (S2), 32–35.
- Durmuş, H., Güneş, E.O. & Kırıcı, M., 2017. Disease detection on the leaves of the tomato plants by using deep learning. *In: 2017 6th International Conference on Agro-Geoinformatics*, 1-5, Fairfax, USA. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8047016>

- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778). https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2016/html/He_Deep_Residual_Learning_CVPR_2016_paper.html
- Hughes, D.P. & Salathe, M. (2015). An open access repository of images on plant health to enable the development of mobile disease diagnostics, arXiv:1511.08060
- Kumar, A. & Vani, M. (2019). Image based tomato leaf disease detection. *In: 2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. 1–6, Kanpu, India. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT45670.2019.8944692>
- Mohanty, S.P., Hughes, D.P. & Salathé, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1419. doi: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2016.01419>
- PlantVillage Dataset, 2018, <https://www.kaggle.com/emmarex/plantdisease>
- Rangarajan, A.K., Purushothaman, R. & Ramesh, A. (2018). Tomato crop disease classification using pre-trained deep learning algorithm. *Procedia Computer Science*, 133, 1040–1047. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.070>.
- Sibiya, M. & Sumbwanyambe, M. (2019). A computational procedure for the recognition and classification of maize leaf diseases out of healthy leaves using convolutional neural networks. *Agricultural Engineering*, 1, 119–131. <http://dx.doi.org/10.20944/preprints201902.0203>
- Srdjan, S., Marko, A., Andras, A., Dubravko, C. & Darko, S. (2016). Deep neural networks based recognition of plant diseases by leaf image classification. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2016/3289801>.
- Tao, H.W., Zhao, L., Xi, J., Yu, L. & Wang, T. (2014). Fruits and vegetables recognition based on color and texture features. *Transaction of the Chinese Society of Agriculture Engineering*, 30 (16), 305–311. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2014.16.039>
- Zhou, G.X., Zhang, W.Z., Chen, A.B., He & M.F. (2019). Rapid detection of rice disease based on FCM-KM and Faster R-CNN fusion. *IEEE Access*, 7, 143190–143206. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2943454>
- Zhang, J.H., Kong, F.T., Wu, J., Zhai, Z., Wu, S. & Cao, S. (2018). Cotton disease identification model based on improved VGG convolutional neural network. *Journal of China Agriculture University*, 23 (11), 161–171.
- Zhang, Y.L., Lai, Z.Y., Jing, X. & Lv, J. (2015). Soybean disease detection based on improved BP neural network. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2, 79–82.

EŞ MERKEZLİ İÇ İÇE BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDE ISI TRANSFERİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN SAYISAL ANALİZİ

Edanur KARACA¹, Özge ALTUN^{2*}

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-5234-5364>

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-0958-333X>

Anahtar Kelimeler

Isı Değiştirici,
Eş Eksenli Boru,
Isı Transferi İyileştirme,
Dairesel Engel,
ANSYS Fluent

Öz

Bu çalışmada, eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricisinde zıt ve paralel akışlarda sıcak akışkanın kütleli debisi sabit olup, soğuk akışkanın kütleli debisinin artmasının ısı transferine olan etkisi ve iç borunun iç yüzeyine yerleştirilen dairesel engellerin ısı transferine olan etkileri incelenmiştir. Reynolds sayısı 808-1935 aralığında değişmektedir. Enerji denklemleri Simple algoritması kullanılarak çözülmüş ve yapılan sayısal çalışmalarda ANSYS Fluent programı kullanılmıştır. İç içe borulu ısı değiştiricisinde zıt ve paralel akışlarda analizi yapılan sınır şartları için etkenlik değerinin yaklaşık 0,41 ila 0,48 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. İçteki boruda dairesel engel kullanımı ile ısı transferinin %44,17 oranında iyileştirilebileceği gözlemlenmiştir.

NUMERICAL ANALYSIS OF HEAT TRANSFER IMPROVEMENT METHODS IN CONCENTRIC TUBE HEAT EXCHANGER

Keywords

Heat Exchanger,
Concentric Pipe,
Heat Transfer Enhancement,
Circular Barrier,
ANSYS Fluent

Abstract

In this study, the mass flow rate of the hot fluid is constant in opposite and parallel flow in the concentric tube-in-tube heat exchanger and the effect of increasing the mass flow of the cold fluid on the heat transfer and the effects of the grooves placed on the inner surface of the inner tube on the heat transfer have been investigated. Reynolds number ranges from 808 to 1935. Energy equations have been solved using the Simple algorithm and ANSYS Fluent program has been used in numerical studies. It has been observed that the effectiveness of the heat exchanger varies between about 0.41 and 0.48 for the boundary conditions analyzed in opposite and parallel flow in the concentric tube heat exchanger. With the use of dimpled pipe, the heat transfer in the straight pipe has been improved by 44,17%.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 13.09.2021

Kabul Tarihi

: 08.03.2022

Research Article

Submission Date

: 13.09.2021

Accepted Date

: 08.03.2022

* Sorumlu yazar; e-posta : okutlu@ogu.edu.tr



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

Isı değiştiriciler, birçok mühendislik alanında ısı enerjisini farklı amaçlarla aktarmak veya değiştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Değişen boyutlarda ve farklı tiplerde ısı değiştiriciler olmasına rağmen, temel bir benzerlikleri vardır. Akışkanların karışmadığı ısı değiştiricilerdeki temel benzerlik akışkanları ayırmak için genellikle plaka veya tüp şeklinde ısıl olarak iletken bir yapının kullanılmasıdır. Çift borulu ısı değiştirici, genel olarak, iç borudan bir sıcak sıvının aktığı ve halka şeklindeki boşluktan bir soğuk sıvının aktığı iki eş merkezli boru içerir. Bu tip ısı değiştiricileri yaygın olarak gıda endüstrisinde kullanılmakla birlikte petrol rafinerisi, buhar gücü santralleri, ısıtma ve iklimlendirme sistemleri gibi çeşitli sektörlerde de kullanılmaktadır. Ayrıca günümüzde giderek artan enerji ihtiyacı ve enerji kaynaklarının hızla tükenmesi sebebiyle enerjinin verimli kullanımı çok büyük bir önem kazanmıştır. Modern bilim ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte, ısı transferini iyileştirme teknolojisi ve yeni tasarım yöntemleri için daha yüksek gereksinimler ortaya konmuştur. Termik santrallerden gaz türbin motorlarına kadar geniş bir yelpazede kullanılan ısı değiştiricilerinde ısı transferi iyileştirme çalışmaları ile enerjinin tasarrufu ve etkin kullanımı mümkündür.

Bu çalışmada literatürde yer alan çalışmalara ek olarak eş eksenli iç içe borulu ısı değiştiricide, iç boruya eklenen dairesel engellerin ısı transferine etkileri incelenmiş, elde edilen sonuçlar düz boru sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Dış borudan soğuk akışkan ve iç borudan sıcak akışkan akmaktadır ve Reynolds sayısı 808-1935 aralığında değişmektedir. Elde edilen sonuçlar incelenen Reynolds aralığında boru içindeki dairesel engellerin ısı transferini iyileştirme üzerine etkisini göstermektedir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Genel olarak, yeni tip ısı transfer boruları, yeni gövde yapıları, gövde borulu ısı değiştiricilerinin ısı transferini arttırmaya yönelik iki ana yaklaşımıdır.

Boru tarafı ısı transferi iyileştirme yöntemlerine örnek olarak oluklu borular (Wang vd., 2021; Córcoles-Tendero vd., 2018), bükülü bantlar (Ayub vd., 2018; Qi vd., 2019) ve kanatlı borular (Zhang vd., 2019; Karami and Kamkari, 2020) örnek olarak verilebilir.

Baysal (2008) eş merkezli boru tipi bir ısı değiştiricisinde sürekli rejim şartlarında türbülanslı akışta farklı hacimsel debilerdeki sıcak hava ile sabit debili soğuk suyun ısı transferi değerlerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Eş merkezli boru tipi ısı değiştiricisinin iç borusunda sıcak hava akışı, dış borusunda ise su akışı vardır. İç boru malzemesi bakır ve dış boru malzemesi çeliktir. Dıştaki boru ve ortam arasındaki ısı kayıplarını azaltmak için dış boruya 5 cm

kalınlığında yalıtım malzemesi kaplanmıştır. Bu yüzden ısı değiştiricisi dış boru sınır şartı adyabatik kabul edilmiştir. Sürekli rejim hali ve akışkanların termofiziksel özelliklerinin çalışma sıcaklıklarında fazla bir değişime uğramadığı için sabit oldukları kabulleri yapılmıştır. Isı değiştiricisi GAMBİT programında modellenip FLUENT programında çözümlenmiştir. Sıcaklık dağılımları, hız dağılımları ve basınç dağılımları verilmiştir. Sonuç olarak havanın debisinin 8 m³ /h'ten 48 m³ /h'e yükselinceye kadar giriş ve çıkıştaki sıcaklık farkının azaldığı, suya geçen ısı miktarının ve iç borudaki basınç kaybının arttığı görülmüştür. Deneysel ve sayısal olarak elde edilen değerler birbiri ile uyumludur.

Budak vd. (2015) konsantrik tip bir ısı değiştiricide boru girişine yerleştirilen içi ve dışı kanatlı; deliksiz türbülötör, gövdesi delikli türbülötör, dış kanadı ve gövdesi delikli türbülötör, iç, dış kanadı ve gövdesi delikli türbülötör olmak üzere dört farklı tipteki türbülötörün ısı transferine olan etkilerini incelemişlerdir. Katı model Solidworks ile oluşturulup ANSYS FLUENT programında çözümlenmiştir. Türbülötördeki delik sayısı ile iç borudaki dağılımlar değişmekte, delik sayısı arttıkça sıcak akışkan havanın sıcaklığı daha fazla düşmektedir. Boru içerisinde oluşan türbülansla beraber akış hızı da artmaktadır.

Boran vd. (2014) iç içe borulu tip ısı değiştiricisini deneysel incelemişlerdir. İç boruda sıcak hava, dış boruda zıt yönde su akışı söz konusudur. Dış borunun dış yüzeyi ısı kayıplarını azaltmak için yalıtılmıştır. Borular bakırdan imal edilmiştir. Farklı türbülötörler kullanılarak havadan suya geçen ısı miktarı ölçülmüştür. Türbülötörlerin ısı transferini arttırdığı görülmüştür. Dar olan türbülötörün diğer türbülötöre göre daha fazla ısı transferi sağladığı gözlemlenmiştir.

Kayataş ve İlbaş (2005) iç içe borulu ısı değiştiricisine yerleştirilen kare kanatçığın, üçgen kanatçığın, girdaplı akışın ve kanatçiksiz ısı değiştiricisinin paralel ve zıt akış uygulanarak ısı transferine etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Kanatçıklar içerisinde ısı transferi açısından en avantajlı olan modelin kare kanatçıklı model olduğu ve en fazla ısı transferinin girdaplı akışta olduğu gözlemlenmiştir.

Albanesi vd. (2018) boru içi akış çalışmışlardır. Türbülanslı ve laminer akışta boru yüzeylerindeki çukurların şeklinin, derinlik ve dağılımlarının ısı transferine ve basınç düşümüne olan etkilerini incelemişlerdir. Akışkan olarak su kullanılmıştır. Çukur derinliği arttıkça ısı transferi ve basınç düşüşü artmıştır. CFD sonuçları ve analitik hesaplamalar arasında %1, deneysel veriler ve CFD sonuçları arasında ise %20 oranında bir fark olduğu gözlemlenmiştir.

Vignesh ve Moorthy (2017) eş merkezli borulu ısı değiştiricisinde içteki borunun düz ve çukurlu (oluklu) olmasının değişik kütleli debilerde ısı transferine etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Isı

değiştiricisinde çukurlu (oluklu) boru kullanımı ile ısı transferi katsayısı %56'dan %64'e, etkenlik değeri %55'e yükselmiştir. CFD sonuçları ve deneysel sonuçlar çukurlu boru kullanımının ısı transferini arttırdığını göstermiştir.

Argunhan ve Yıldız (2006) iç içe borulu ısı değiştiricisinde farklı delik sayılı dönme üreticilerinin ısı transferine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. 60 mm çapındaki borunun girişine 55° kanat açısına sahip ve kanatlarında birer, ikişer, üçer ve dörder tane dairesel delik bulunan dönme üreticileri yerleştirerek deneyler yapmışlardır. Akışkan olarak iç boruda sıcak hava ve dış boruda soğuk su kullanılmıştır. Dönme üreticisi kullanımı ile ısı transferinin %83 kadar iyileştirilebileceği ve bu iyileşmenin kanatlardaki delik sayısı ve Reynolds sayısı artışı ile sağlandığı sonucuna varılmıştır. Isı transferindeki artış ile basınç kaybı da artmıştır. Basınç kaybındaki artış ve ısı transferindeki artış kıyaslanmıştır. Elde edilen ısı kazancının yanında basınç kaybı artışı çok düşük seviyededir. Dönme üreticileri kullanımı daha küçük ısı değiştirici kullanımına olanak sağlamaktadır.

Shivam B vd. (2017) çift borulu ısı değiştiricilerinde türbülötör kullanarak ısı transferi iyileştirme çalışmaları yapmışlardır. Farklı kütleli debiler kullanarak ters ve düz akışlar için türbülötör kullanılan ve türbülötör kullanılmayan koşullarda, deneyler ve CFD analizleri yapılarak Nusselt sayısı, etkenlik değeri ve ortalama ısı transfer katsayısı kıyaslanmıştır. Türbülötör kullanımının türbülans yarattığı ve bunun da ısı transferi hızını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Hariraam vd. (2018) çift borulu ısı değiştiricisinde içteki boruda dairesel ve kare kesit kullanarak zıt akış için CFD analizleri yapmışlardır. Analizlerde akışkan olarak su kullanılmıştır. Analiz sonuçlarında kare kesitli boruda soğuk akışkanın çıkış sıcaklığı dairesel kesitli borudakinden daha yüksek çıkmıştır. Kare kesitli boruda keskin kenarların türbülans arttırdığı ve bu sebeple ısı transfer hızının arttığı sonucuna varılmıştır.

Bhanuchandrarao vd. (2013) iç içe borulu ısı değiştiricisi için ANSYS Fluent ile CFD analizleri ve analitik hesaplamaları yapmışlardır. Yapılan analizlerin ve hesaplamaların sonuçları literatürde yer alan analitik hesaplamalar ile doğrulanmıştır. Giriş hızı ve giriş sıcaklığına bağlı olarak sıcaklık düşüşlerini paralel akış, zıt akış ve kirlenme faktörünün hesaba katıldığı akışlar için incelemişlerdir. Akışkan olarak birçok farklı sıvı kullanılmıştır.

Patrascioiu ve Radulescu (2012) çift borulu tip ısı değiştiricisi için deneysel ve analitik hesaplamalar yapmışlardır. Yapılan deneylerin sonuçları ve matematiksel modelin sonuçları karşılaştırılmıştır. Soğuk akışkana kıyasla sıcak akışkanda deneysel değer ve matematiksel değerler arasındaki fark daha düşüktür. Deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarının doğruluğu göz önünde bulundurularak matematiksel

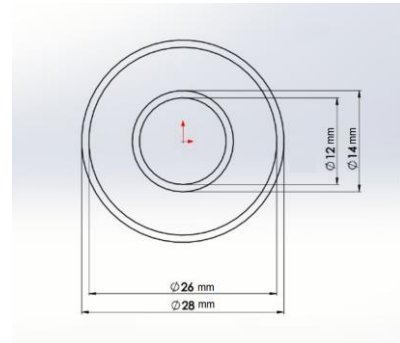
modellemedeki sapmaların deneysel hatalardan kaynaklandığı ve matematiksel modelin doğrulandığı sonuçlarına varılmıştır.

3. Yöntem

Çalışmada düz ve dairesel engele sahip boru olmak üzere iki farklı geometri ele alınmıştır. Düz boru hem çalışmada yapılan analizleri, literatürde yer alan deneysel çalışmalar ile doğrulamak hem de içteki boruya eklenen dairesel engellerin ısı transferine etkisini gözlemleyebilmek için incelenmiştir. Dairesel engellerin eklendiği boruda sadece zıt akış ele alınmıştır. Üç boyutlu model için süreklilik, momentum ve enerji denklemleri FLUENT® 6.3 yazılım programı kullanılarak çözülmüştür. Taşınım terimlerinde ikinci dereceden ayıklaştırma şeması seçilmiş, çözüm için SIMPLE algoritması kullanılmıştır.

3.1. Geometri

Çalışma kapsamında literatürde yer alan (Patrascioiu ve Radulescu, 2012) geometrik özellikler ve sınır koşulları kullanılarak analizler yapılmıştır. Analizi yapılan geometri ve boyutları Şekil 1 ve Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Geometri

Tablo 1

Geometrik Boyutlar (Patrascioiu ve Radulescu, 2012)					
	İç boru iç çap (R_{ii}) [m]	İç boru dış çap (R_{id}) [m]	Dış boru iç çap (R_{di}) [m]	Dış boru dış çap (R_{dd}) [m]	Boru uzunluğu [m]
Değer	0,012	0,014	0,026	0,028	0,935

Analizlerde kullanılan sınır şartları ise Tablo 2'de özetlenmiştir. Tabloda \dot{m}_c ve \dot{m}_h , sırasıyla soğuk ve sıcak akışkanın kütleli debisi, $T_{c,i}$ ve $T_{h,i}$ sırasıyla soğuk ve sıcak akışkanın giriş sıcaklıklarıdır.

Tablo 2

Sınır Koşulları (Patrascoiu ve Radulescu, 2012)

Deney Numarası	\dot{m}_c [kg/s]	\dot{m}_h [kg/s]	$T_{c,i}$ [°C]	$T_{h,i}$ [°C]
1	0,026	0,053	11,8	55,3
2	0,026	0,060	11,7	55,3
3	0,026	0,064	11,7	55,3
4	0,028	0,053	11,6	55,3
5	0,036	0,062	11,5	55,3

Newton tipi akışkanların sürekli, laminer akışı için vektörel biçimde süreklilik, momentum ve enerji denklemleri sırasıyla Denklem (1), (2) ve (3)'te verilmiştir. Bu denklemlerde ρ yoğunluk, P basınç, ϑ

kinematik viskozite, T sıcaklık, α ısı yayılım katsayısıdır.

Süreklilik denklemi;

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemi;

$$(\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \vartheta \nabla^2 \mathbf{V} \quad (2)$$

Enerji denklemi;

$$(\mathbf{V} \cdot \nabla) T = \alpha \nabla^2 T \quad (3)$$

Analizler sonucunda soğuk ve sıcak akışkanın çıkış sıcaklıkları ($T_{h,o}, T_{c,o}$) elde edilmiş ve elde edilen değerler ile literatür ile kıyaslaması (Patrascoiu ve Radulescu, 2012) Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3

Soğuk ve sıcak akışkanın çıkış sıcaklıkları

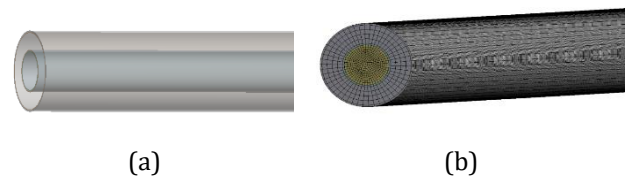
Analiz No	$T_{c,o}$ (Patrascoiu ve Radulescu, 2012) [°C]	$T_{c,o}$ [°C]	Hata %	$T_{h,o}$ (Patrascoiu ve Radulescu, 2012) [°C]	$T_{h,o}$ [°C]	Hata %
1	24,50	22,46	8,3	49,2	50,13	1,894
2	25,20	22,80	9,5	49,6	50,58	1,981
3	25,40	22,90	9,8	49,9	50,81	1,830
4	23,30	21,61	7,3	49,4	50,03	1,275
5	22,00	19,95	9,3	49,2	50,35	2,338

Tablo 3 incelendiğinde yapılan CFD analizleri ile deneysel veriler arasında soğuk akışkan çıkış sıcaklığı için ortalama %8,9; sıcak akışkan çıkış sıcaklığı için ortalama %1,86 fark olduğu gözlemlenmiştir.

3.2. Sayısal Model

Çalışmanın ilk kısmında yapılan analizler sonucunda oluşturulan geometriden elde edilen sonuçların, literatürde yer alan sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Çalışmanın ikinci kısmında birinci kısımda kullanılan mesh yapısı kullanılarak incelenmek istenen geometri analiz edilmiştir.

Isı değiştiricisi geometrisi ANSYS Design Modeler kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 2-a). Geometriye uygun sayısal ağ yapısı ANSYS Mesh modülü ile yapılmıştır (Şekil 2-b). CFD analizleri ANSYS Fluent ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Analizi yapılan modelin a) Geometrisi, b) Mesh yapısı

Yapılan bu çalışmada ısı değiştiricisi için belirlenen geometrik boyutlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4

Geometrik Boyutlar

	İçteki borunun iç çapı (R _{ii}) [m]	İçteki borunun dış çapı (R _{id}) [m]	Dıştaki borunun iç çapı (R _{di}) [m]	Dıştaki borunun dış çapı (R _{dd}) [m]	Boru uzunluğu [m]
Değer	0,025	0,027	0,050	0,052	1,5

Kullanılan sınır koşulları ise Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5

Sınır Koşulları

Analiz No	\dot{m}_c [kg/s]	\dot{m}_h [kg/s]	T _{c,i} [°C]	T _{h,i} [°C]
1	0,015	0,01	10	90
2	0,020	0,01	10	90
3	0,030	0,01	10	90
4	0,040	0,01	10	90

Sıcak ve soğuk akışkanların her ikisi için de su kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan suyun termofiziksel özellikleri Tablo 6 'da verilmiştir. Soğuk akışkan için Reynolds sayısı Denklem 4'ten hesaplanmıştır.

$$Re = \frac{4 \cdot \dot{m}_c}{\pi \cdot D_c \cdot \mu} \quad (4)$$

burada, \dot{m}_c soğuk akışkanın kütleli debisi, D_c soğuk akışkanın aktığı borunun hidrolik çapı ve μ suyun dinamik viskozitesidir.

Boru malzemesi bakır olarak seçilmiştir. Dış borudan soğuk su, iç borudan sıcak su akmaktadır. Isı değiştiricisinin dış yüzeyi adyabatik kabul edilmiştir. Dış borudan akan soğuk suyun kütleli debisi artırılarak analizler paralel ve zıt akış için tekrarlanmıştır. Isı

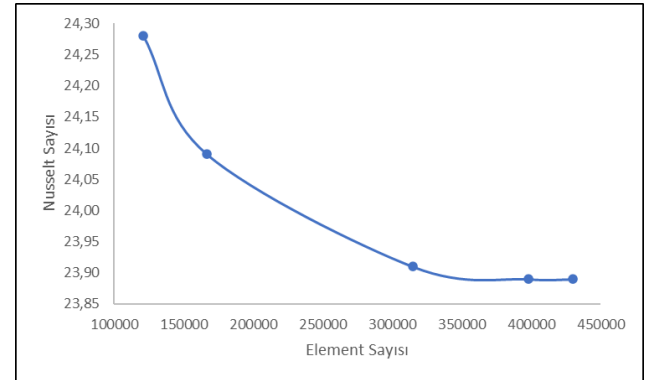
değiştiricisinin içteki borusuna dairesel engeller eklenerek zıt akış için analiz tekrarlanmıştır.

Tablo 6.

Suyun termofiziksel özellikleri

Yoğunluk (kg/m ³)	998,2
Özgül Isı (j/kgK)	4182
Isı iletim katsayısı (W/mK)	0,6
Dinamik viskozite (kg/ms)	0,001003

Çalışmada kullanılacak ağ yapısının belirlenebilmesi için ağdan bağımsızlık çalışması yapılmış ve beş farklı ağ yapısı (Şekil 3) için Nusselt sayıları karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Mesh element sayısına bağlı Nusselt sayısı

Yapılan beş analiz sonucunda 398326 mesh element sayısından sonra Nusselt sayısının değişmemesi nedeniyle bu ağ yapısı analizlerde kullanılmıştır. Kullanılan ağ yapısı özellikleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7

Ağ yapısı özellikleri

Aspect Ratio	Skewness	Orthogonal Quality	Düğüm noktası	Elements
7,93	0,49	0,65	412365	398326

4. Bulgular

Hem paralel hem de zıt akış analizlerinde sıcak akışkanın kütleli debisi sabit tutulmuştur. Soğuk akışkanın kütleli debisi ise 0,015-0,040 kg/s arasında

dört farklı durum için analizler tekrarlanmıştır. Her iki akış analizi için soğuk akışkan tarafı Nu ve etkenlik (ϵ)

değerleri hesaplanmıştır. Paralel akışlı geometri için CFD analizlerinin sonuçları Tablo 8’ da özetlenmiştir.

Tablo 8

İç İçe Borulu Isı Değiştiricisinde Paralel Akış için Analiz Sonuçları

PARALEL AKIŞ							
Analiz No	\dot{m}_c [kg/s]	\dot{m}_h [kg/s]	$T_{h,o}$ [°C]	$T_{c,o}$ [°C]	Soğuk Akışkan için Re	Soğuk Akışkan için Nu	Etkenlik ϵ
1	0,015	0,01	57,47	31,68	844,37	24,14	0,407
2	0,020	0,01	55,74	27,13	1066,13	25,63	0,428
3	0,030	0,01	53,80	22,06	1504,00	27,82	0,453
4	0,040	0,01	52,20	19,28	1935,00	29,46	0,473

Tablo 8 incelendiğinde soğuk akışkan için Nusselt sayısının 24,14 – 29,46, etkenlik değerinin ise 0,407 - 0,473 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Zıt akışlı ısı değiştirici için elde edilen sonuçlar Tablo 9’ da verilmiştir. Zıt akışlı düzenlemede Nusselt sayısının 24,05 – 29,43, etkenlik değerinin ise 0,434 – 0,481 değerleri arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Tablo 9

İç İçe Borulu Isı Değiştiricisinde Zıt Akış için Analiz Sonuçları

ZIT AKIŞ							
Analiz No	\dot{m}_c [kg/s]	\dot{m}_h [kg/s]	$T_{h,o}$ [°C]	$T_{c,o}$ [°C]	Soğuk Akışkan için Re	Soğuk Akışkan için Nu	Etkenlik ϵ
1	0,015	0,01	55,25	33,17	808,47	24,05	0,434
2	0,020	0,01	53,86	28,07	1077,96	25,71	0,451
3	0,030	0,01	52,35	22,55	1514,34	27,78	0,471
4	0,040	0,01	51,54	19,62	1943,71	29,43	0,481

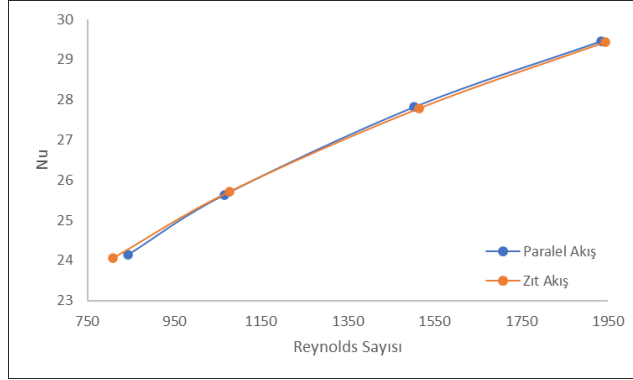
Paralel ve zıt akışlı ısı değiştiricisi karşılaştırıldığında beklenildiği gibi zıt akışlı değiştiricinin ortalama % 4,5 daha verimli olduğu görülmüştür.

Reynolds sayısı ve Nusselt sayısı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 4’te verilmiştir Paralel ve zıt akış için yapılan analiz sonuçlarına göre soğuk akışkanın kütleli debisinin artmasıyla beraber Reynolds sayısı ve Nusselt sayısı da artış göstermiştir (Şekil 4). Her iki akış

için yaklaşık çözümü yapılan Reynolds değerleri için Nusselt sayıları arasında ortalama %2’lik bir fark olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan tüm analizlerde akış laminedir. Halkasal borudaki akışın Nusselt sayısının hesaplamasında Denklem 1 kullanılmıştır (Patrascioiu ve Radulescu, 2012). Zıt akış için yapılan analizlerin sonuçları ile

kıyaslandığında paralel akışta ısı değiştirici etkenlik değeri daha düşüktür.



Şekil 4. Nusselt Sayısının Reynolds Sayısı ile değişimi

Halkasal kesitteki akışta $Re < 2300$ (laminer) için;

$$Nu = 4,05 Re^{0.17} Pr^{0.33} \quad (5)$$

Akışkanlarda faz değişimi olmadığı için sıcak ve soğuk akışkandan olan ısı transferi değerleri sırasıyla Denklem 6 ve 7'den elde edilmiştir (Şekil 6).

$$q = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (6)$$

$$q = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (7)$$

Bu denklemlerde sırasıyla $c_{p,h}$, $c_{p,c}$ sıcak ve soğuk akışkanın özgül ısılarıdır.

Ayrıca bir ısı değiştiricisinde ısı transfer miktarı;

$$q = UA\Delta T_{lm} \quad (8)$$

Olarak ifade edilebilir. Burada U toplam ısı transfer katsayısı, A ısı transfer yüzey alanı ve ΔT_{lm} ortalama logaritmik sıcaklık farkıdır. Paralel akışlı bir ısı değiştiricisi için;

$$\Delta T_{lm} = \frac{[(T_{h,i} - T_{c,i}) - (T_{h,o} - T_{c,o})]}{\ln[(T_{h,i} - T_{c,i}) / (T_{h,o} - T_{c,o})]} \quad (9)$$

Zıt akış için;

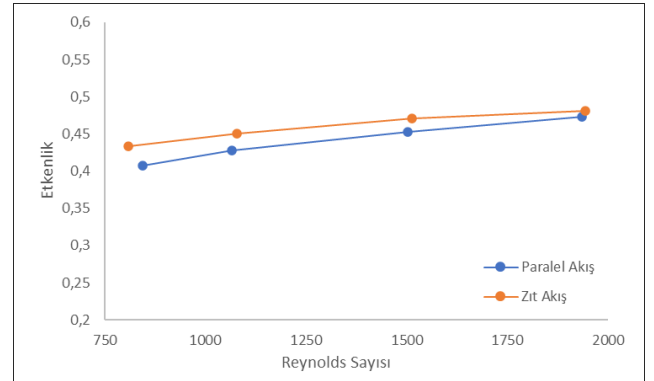
$$\Delta T_{lm} = \frac{[(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})]}{\ln[(T_{h,i} - T_{c,o}) / (T_{h,o} - T_{c,i})]} \quad (10)$$

olmaktadır (Incropera ve diğ., 2015).

Isı değiştirici etkenliğinin hesaplanmasında Denklem (11) kullanılmıştır (Vignesh ve Moorthy, 2017).

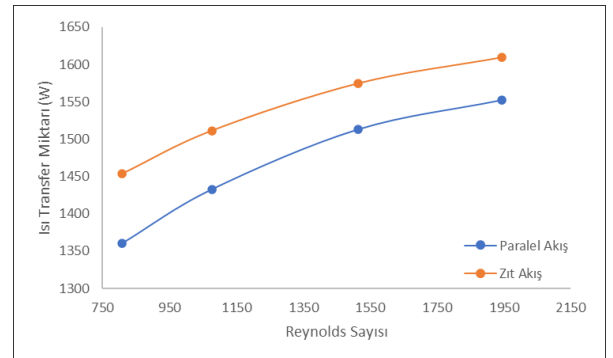
$$\varepsilon = \frac{\dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o})}{(\dot{m} c_p)_{min} (T_{h,i} - T_{c,i})} \quad (11)$$

Şekil 5'te paralel ve zıt akışlı ısı değiştiricileri için etkenliğin Reynolds sayısı ile değişimi verilmiştir. Düşük Reynolds sayıları için zıt akışlı ısı değiştiricide verimin yaklaşık %6 arttığı gözlemlenmiştir.



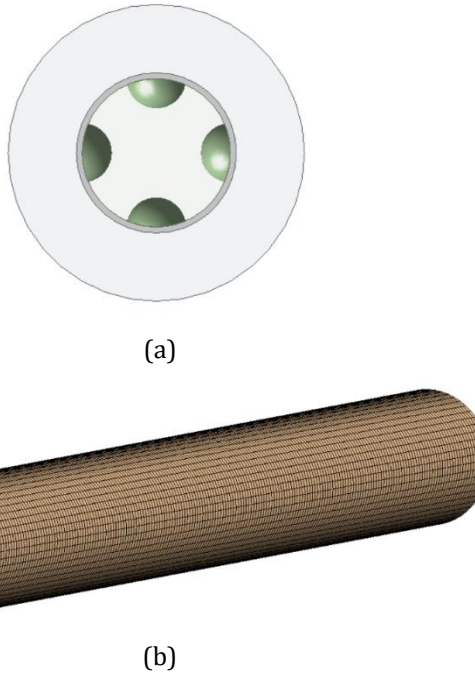
Şekil 5. Etkenliğin Reynolds Sayısı ile değişimi

İncelenen ısı değiştiricinin performansını değerlendirmek için etkenlik değerine ilave olarak paralel ve zıt akış için ısı transfer oranları karşılaştırılmıştır (Şekil 6). Aynı giriş sıcaklığı için zıt akışlı analizde ortalama logaritmik sıcaklık farkı paralel akış analizinden daha büyük olduğu için zıt akışlı analizde ısı transfer değerinin daha büyük olması beklenmektedir (Denklem 9 ve 10). Şekil 6 incelendiğinde zıt akışta ısı transfer miktarının paralel akışa göre ortalama 73 W arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 6. Paralel ve zıt akışlı analizlerde ısı transfer miktarının karşılaştırılması

Isı değiştiricisindeki ısı transferinin iyileştirilmesi için içteki borunun iç yüzeyine 90 Derecelik açı ile 5 mm yarıçapında boru boyunca aralarında 10,13 mm mesafe olacak şekilde 296 adet dairesel engeller eklenmiştir (Şekil 7a).



Şekil 7. Dairesel engel eklenen modelin a) Geometrisi, b) Mesh yapısı

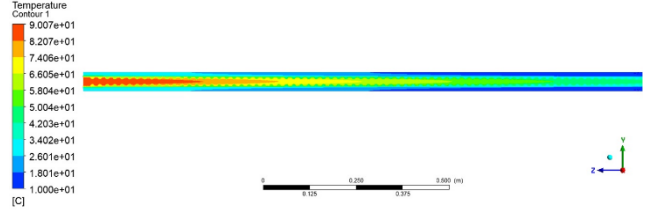
Dairesel engel eklenen modelde zıt akış için sınır koşulları, CFD analizinin sonuçları için Tablo 10' da verilmiştir. Zıt akış için yapılan analizlerin sonuçları hem düz boru hem de dairesel engel eklenen boru için kıyaslandığında dairesel engelli boruda etkenlik değerinin %44 arttığı görülmektedir.

Tablo 10

Dairesel Engelli Boruda Zıt Akış için Sınır Koşulları ve Analiz Sonuçları

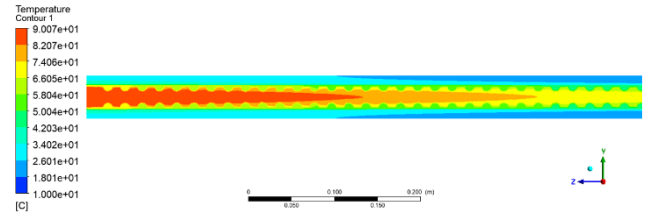
\dot{m}_c [kg/s]	\dot{m}_h [kg/s]	$T_{h,i}$ [°C]	$T_{c,i}$ [°C]	$T_{h,o}$ [°C]	$T_{c,o}$ [°C]	Etkenlik ϵ	
						Engelli Boru	Düz Boru
0,020	0,01	90	10	37,89	35,20	0,6514	0,451

İç boruda dairesel engeller olan zıt akışlı ısı değiştiricisinin aksel olarak sıcaklık dağılımı Şekil 8'te verilmiştir. Kontur görüntüsü verilen analizde sıcak ve soğuk akışkanın giriş sıcaklıkları sırası ile 90 ve 10 °C'dir. Sıcak akışkanın kütleli debisi 0,01 kg/s, soğuk akışkanın kütleli debisi ise 0,020 kg/s ve giriş basıncı 1 atm'dir. Zıt yönlere akan sıcak ve soğuk su için oluşan ısıl sınır tabakalar Şekil 8'de görülmektedir. Hem iç boruda hem de dış boruda sıcak ve soğuk akışkanın ortak cidarları vasıtasıyla ısı geçişi başlar ve ısıl sınır tabaka oluşumu da eş zamanlı olarak gelişmektedir.



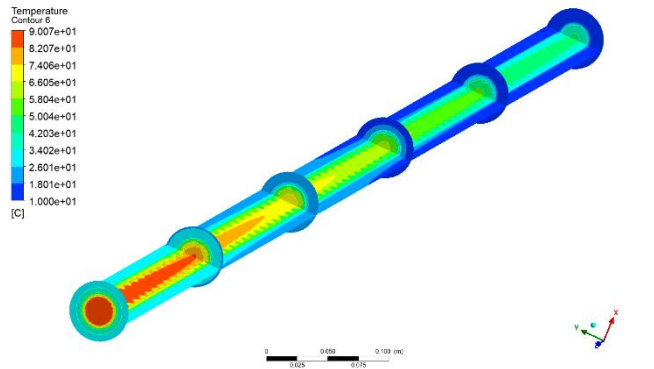
Şekil 8. Isı Değiştiricisindeki Sıcaklık Dağılımı

Isı değiştiricisinde sıcak akışkan giriş bölgesi tarafında, sıcak ve soğuk suyun sıcaklık dağılımı Şekil 8'da verilmiştir. Sıcaklık dağılımı incelendiğinde soğuk suyun sıcaklığının ısı değiştiricinin çıkışına doğru (sıcak akışkan tarafı ısı değiştirici girişi) azaldığı, benzer şekilde de sıcak suyun sıcaklığının da azaldığı görülmektedir.



Şekil 9. Sıcak Akışkanın Girdiği Bölgede Oluşan sıcaklık Dağılımı

Isı değiştiricinin tümünde oluşan sıcaklık dağılımı Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Şekiller incelendiğinde sıcak akışkan için ısıl sınır tabaka gelişimi görülmektedir.



Şekil 10. Isı Değiştiricisindeki Sıcaklık Dağılımları (Karaca,2021)

5. Tartışma

Bu çalışmada eş eksenli iç içe borulu ısı değiştiricide, paralel ve zıt akış ısı değiştiricilerinin etkenlik değerleri ve iç boruya eklenen dairesel engellerin ısı transferine etkileri incelenmiş, elde edilen sonuçlar iç içe düz boru ısı değiştirici analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Dış

borudan soğuk akışkan ve iç borudan sıcak akışkan akmaktadır ve Reynolds sayısı 808-1935 aralığında değişmektedir. Düz boru analizlerinde sıcak akışkan kütleli debisi sabit tutulmuş ($\dot{m}_h = 0,01 \text{ kg/s}$), soğuk akışkanın kütleli debisi ($\dot{m}_c = 0,015 - 0,040 \text{ kg/s}$) değiştirilmiştir.

Paralel akışlı ısı değiştirici analiz sonuçları incelendiğinde etkenlik değerinin ortalama 0,44 olduğu gözlemlenmiştir. Zıt akışlı ısı değiştiricisinde ise bu değer ortalama 0,46'dır.

İçteki boruya dairesel engellerin eklenmesi ile $\dot{m}_c = 0,020 \text{ kg/s}$ için etkenlik değeri 0,65 olarak hesaplanmıştır. Aynı koşullarda zıt akışlı ısı değiştiricisi ile kıyaslandığında etkenlik değerinin yaklaşık %44 arttığı gözlemlenmiştir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada iç içe boru ısı değiştiricisinde ısı transferi iyileştirme yöntemi çalışılmıştır. İlk olarak düz borulu geometride paralel ve zıt akışlı ısı değiştiricinin etkenliği hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında ise içteki boruya yarıçapı 5 mm olan dairesel engeller ilave edilerek zıt akış durumunda ısı değiştirici etkenlik değeri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda;

- Düz boruda zıt akışlı ısı değiştirici etkenlik değerinin paralel akışlıya göre %4,5 arttığı gözlemlenmiştir.
- Dairesel engele sahip geometride etkenlik değerlerinin, engelsiz zıt akış göre % 44 arttığı tespit edilmiştir.

İçteki borunun iç yüzey alanının artırılması ile ısı transferinde önemli artışlar elde edilebileceği gibi aynı zamanda sürtünme faktöründe de artışlara sebep olmaktadır. Bu yönde yapılacak farklı geometrilere ait sayısal analizlerin gelecekte yapılacak olan çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Edanur KARACA, bilimsel yayın araştırması, geometrinin oluşturulması ve bilgisayar ortamına aktarılması, analizlerin yapılması ve makalenin oluşturulmasında, Özge ALTUN, danışmanlık, makalenin oluşturulması ve sonuçların hazırlanmasında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Albanesi, A.W., Daish K.D., Dally, B. ve Chin, R.C. (2018). *Investigation of heat transfer enhancement in dimpled pipe flows*, 21st Australasian Fluid Mechanics Conference, 1-4, Adelaide, Australia. Erişim adresi: <https://digital.library.adelaide.edu.au/dspace/handle/2440/124731>
- Argunhan, Z. ve Yıldız, C. (2006). Dairesel kesitli bir borunun girişine yerleştirilen delikli sabit kanatçıklı dönme üreticinin ısı geçişi ve basınç düşüşüne etkileri, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 217-223. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/pajes/issue/2052/0/218506>
- Ayub, Z.H., Yang, D., Khan, T.S., Al-Hajri, E. ve Ayub, A.H. (2018). Performance characteristics of a novel shell and tube heat exchanger with shell side interstitial twisted tapes for viscous fluids application, *Applied Thermal Engineering*, 134, 248-255. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.01.054>
- Baysal, E. (2008). Eş merkezli boru tipli ısı değiştiricilerinde deneysel ve sayısal ısı transferi sonuçlarının karşılaştırılması, *Politeknik Dergisi*, 11(4), 345-352. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/33033/367248>
- Bhanuchandrarao, D., Chakravarthy, M.A., Krishna, Y., Subba Rao V.V. ve Krishna T.H. (2013). CFD analysis and performance of parallel and counter flow in concentric tube heat exchangers, *International Journal of Engineering Research & Technology* 2(11), 2782-2792. Erişim adresi: <https://www.ijert.org/cfd-analysis-and-performance-of-parallel-and-counter-flow-in-concentric-tube-heat-exchangers-2>
- Boran, K., Daştan, F., Şahin, H.M. ve Aktaş, M. (2014). Isı Eşanjörlerinde Isı Transferi İyileştirme Yöntemlerinin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 17(4), 183-191. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/33072/368024>
- Budak, N., Yücel, H.L., Işık, M.Z. ve Oktay, H. (2015). Konsantrik tip bir ısı değiştiricisinde türbülatorlerin etkisinin sayısal incelenmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 12(3), 87-97. Erişim adresi: <http://earsiv.batman.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12402/1963?show=full>
- Córcoles-Tendero, J.I., Belmonte, J.F., Molina, A.E. ve Almendros-Ibáñez, J.A. (2018). Numerical simulation of the heat transfer process in a corrugated tube, *International Journal of Thermal Sciences*, 126, 125-

- 136.doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.12.028>
- Fluent 6.3 User's Guide, Fluent Inc., Lebanon (USA) (2006)
- Hariraam.V., Domic E.D., Gokula K.M., Dombega, S. ve Selvan, P. (2018). CFD analysis of double pipe heat exchanger with different inner sections, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(4), 1851-1854. Erişim adresi: https://www.academia.edu/36866866/CFD_Analysis_of_Double_Pipe_Heat_Exchanger_with_Different_Inner_Sections
- Incropera F. P., Dewitt D. P., Bergman T. L. ve Lavine A. S., (2015). Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Ankara: Palme Yayıncılık.
- Kale Shivam B., Kadam Prashant P., Pardeshi Rohansingh G. ve Karwande Swapnil C. (2017). Experimental analysis & simulation of double pipe heat exchanger, *IJARIE*, 3(2), 2357-2367. Erişim adresi: http://ijariie.com/AdminUploadPdf/EXPERIMENTAL_ANALYSIS_AND_SIMULATION_OF_DOUBLE_PIPE_HEAT_EXCHANGER_ijariie4429.pdf
- Karaca, E. (2021). Eş Merkezli İç İç Borulu Isı Değiştiricisinin Isıl Analizi, Esogü Makine Müh. Bölümü, Lisans Bitirme Projesi.
- Karami, R.M., ve Kamkari, B. (2020). Experimental investigation of the effect of perforated fins on thermal performance enhancement of vertical shell and tube latent heat energy storage systems, *Energy Conversion and Management*, 210, 112679. doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112679>
- Kayataş, N. ve İlbaş, M. (2005). İç iç borulu model bir ısı değiştiricisinde ısı transferinin iyileştirilmesinin sayısal olarak incelenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 128-139. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/erciyesfen/issue/25601/270144>
- Patrascioiu, C. ve Radalescu, S. (2012). Modeling and simulation of the double tube heat exchangers, case studies, *Advances in Fluid Mechanics and Heat & Mass Transfer*, ISBN: 978-1-61804-114-2, 35-41. Erişim adresi: <https://www.semanticscholar.org/paper/Modeling-and-Simulation-of-the-Double-Tube-Heat--PatrascioiuR%C4%83dulescu/edd2c2b811e24344b82125c2e93c63866d31c83a>
- Qi, C., Liu, M.N. ve Tang J.H. (2019). Influence of triangle tube structure with twisted tape on the thermo-hydraulic performance of nanofluids in heat-exchange system based on thermal and exergy efficiency, *Energy Conversion and Management*, 192, 243-268. Erişim adresi: https://www.cheric.org/research/tech/periodicals/doi.php?art_seq=1745002
- Vignesh, S., Moorthy, V.S. ve Nallakumarasamy, G. (2017). Experimental and CFD analysis of concentric dimple tube heat exchanger, *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research*, 5(7), 18-26. Erişim adresi: <https://www.semanticscholar.org/paper/Experimental-and-CFD-Analysis-of-Concentric-Dimple-Vignesh/c2cba586a29a047613a75fc162fb4185e1090017>
- Wang, W., Shuai, Y., Li, B.R., Li, B.X. ve Lee, K.S. (2021). Enhanced heat transfer performance for multi-tube heat exchangers with various tube arrangements, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 168. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.120905>
- Zhang, J.N., Cheng, M., Ding, Y.D., Fu Q. ve Chen, Z.Y. (2019). Influence of geometric parameters on the gas-side heat transfer and pressure drop characteristics of three-dimensional finned tube, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 133, 192-202. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.12.118>

MODELLING OF MAGNESITE FLOTATIONS WITH TWO DIFFERENT COLLECTORS: BIOCOLLECTOR AND OLEATE

Derya ÖZ AKSOY^{1*}, Serhat ÖZDEMİR², Sabiha KOCA³, Hakan ÇAKMAK⁴, Pınar AYTAR ÇELİK⁵, Ahmet ÇABUK⁶, Hüseyin KOCA⁷

¹ Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-0604-3661>

² Graduate School of Natural and Applied Science, Department of Biotechnology and Biosafety, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-9238-0658>

³ Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-9115-0957>

⁴ Microbiota Biotechnology Industry and Trade Incorporated Company , Eskisehir Osmangazi University, Technology Development Zone Technopark, Eskisehir, Turkey,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-5642-0982>

⁵ Graduate School of Natural and Applied Science, Department of Biotechnology and Biosafety, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey,

Environmental Protection and Control Program, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-9447-1668>

⁶ Graduate School of Natural and Applied Science, Department of Biotechnology and Biosafety, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey,

Department of Biology, Faculty of Science and Letter, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-4619-6948>

⁷Porsuk Technical College, Eskisehir Technical University, Eskisehir, Turkey,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-4020-0176>

Keywords

Bacillus subtilis
Bioflotation
Magnesite flotation
Surfactin
Statistical experiment design

Abstract

As environmental concerns grow, flotation researches, particularly for the recovery of fine-grained ores, encourage "bioflotation" studies, in which biological origin alternatives are used instead of traditional flotation reagents. While bioflotation applications starting from the pyrite mineral have spread to many carbonate and oxide minerals over time, and biomaterials used as a bioreagent have diversified from the microorganism itself to its metabolites and even cell components.

In this article, the use of "surfactin" derived from Bacillus subtilis as a bio-collector in the flotation of magnesite was investigated. The results of bioflotation studies were compared to those of oleate, traditional magnesite collector. Moreover, process models were created with statistical design methods, and the verification results of the optimization studies using model data showed that these models were statistically strong.

İKİ FARKLI TOPLAYICI İLE YAPILAN MANYEZİT FLOTASYON SÜREÇLERİNİN MODELLENMESİ: BİYOTOPLAYICI VE OLEAT

Anahtar Kelimeler

Bacillus subtilis
Biyoflotasyon
Manyezit flotasyonu

Öz

Çevresel kaygıların artması, özellikle ince taneli cevherlerin geri kazanılması için yapılan flotasyon araştırmaları, geleneksel flotasyon reaktifleri yerine biyolojik kökenli alternatiflerin kullanıldığı "biyoflotasyon" çalışmalarını teşvik etmektedir. Pirit

* Sorumlu yazar; e-posta : deryaoz@gmail.com



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/>).

Sürfaktin İstatistiksel deney tasarımı mineralinden başlayan biyoflotasyon uygulamaları zamanla birçok karbonatlı ve oksitli minerallere yayılmış, reaktif olarak kullanılan biyolojik maddeler ise mikroorganizmanın kendisinden metabolitlerine ve hatta hücre bileşenlerine kadar çeşitlenmiştir. Bu makalede, *Bacillus subtilis*'ten elde edilen "sürfaktin" in manyezit flotasyonunda biyotoplayıcı olarak kullanımı araştırılmıştır. Biyoflotasyon çalışmalarının sonuçları, geleneksel manyezit toplayıcısı olan oleatin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca istatistiksel tasarım yöntemleri ile süreç modelleri oluşturulmuş ve model verileri kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmalarının doğrulama sonuçları bu modellerin istatistiksel olarak güçlü modeller olduğunu göstermiştir.

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 30.09.2021

Submission Date : 30.09.2021

Kabul Tarihi : 10.11.2021

Accepted Date : 10.11.2021

1. Introduction

The gradual depletion of the world's mineral resources has long driven researchers to develop technologies to prolong the life of these resources and at the same time make them economically viable. Today, the flotation method is widely used in fine sized minerals, particularly metal sulfides. However, rapid industrialization has threatened life on Earth by polluting the environment, and as a result, mining, ore preparation, and particularly flotation areas have begun to seek more eco-friendly processes, as in all industrial applications. Thanks to the advancements in the field of biotechnology, it has been discovered that several microbial surface-active metabolites reduce the surface tension (Gautam and Tyagi, 2006). Thus, their use in flotation and flocculation methods provided numerous benefits in terms of environmental aspects and even process costs (Behera and Mulaba-Bafubiandi, 2017; Smith and Miettinen, 2006; Otsuki, 2016). Flotation processes that use microorganisms, metabolites, or microbial components instead of traditional reagents are referred to as "bioflotation" applications (Dwyer, Bruckard, Rea and Holmes, 2012).

In fact, studies using *At. ferrooxidans* as a pyrite depressant are the first bioflotation experiments encountered in the literature (Atkins, Bridgwood, Davis, and Pooley, 1987; Davis and Atkins, 1988; El Zeky and Attia, 1987; Townsley, Atkins, and Davis, 1987). These studies have expanded from the pyrite mineral (Amini, Hosseini, Oliazadeh and Kolahdoozan, 2009; Attia, Elzaky and Ismail, 1993; Mehrabani, Mousavi and Noaparast, 2011; Nagaoka, Ohmura and Saiki, 1999) to variety of carbonate (Botero, Torem and de Mesquita, 2008; Kim, Park, Choi, Gomez-Flores, Han, Choi and Kim, 2015; Zheng, Arps and Smith, 2001), silicate (Farahat, Hirajima, Sasaki, Aiba and Doi, 2008; Natarajan and Padukone, 2012; Yang, Feng, Li, Wang and Teng, 2014; Zhao, Wu, Zhang, Zhu and Tan, 2017), and oxide (Farghaly, Abdel-Khalek, Abdel-Khalek, Selim and Abdullah, 2020; Sarvamangala and Natarajan, 2011; Yang, Li, Tang, Wang and Ma, 2013) minerals. The

bioreagents used in this process have evolved from microorganisms (Consuegra, Kutschke, Rudolph and Pollmann, 2020; Lopez, Merma, Torem and Pino, 2015; Merma, Torem, Moran and Monte, 2013) to its metabolites (Gholami and Khoshdast, 2020; Sanwani, Chaerun, Mirahati and Wahyuningsih, 2016; Yehia, Khalek and Ammar, 2017) and in more recently, to their cellular components (Bleeze, Zhao and Harmer, 2018; La Vars, Quinton and Harmer, 2021; Santhiya, Subramanian and Natarajan, 2002; Vasanthakumar, Ravishankar and Subramanian, 2014).

Among these metabolites "surfactin" is one of the most powerful biosurfactant molecule produced by the culture broth of *Bacillus* spp (Arima, Kakinuma and Tamura, 1968). At low concentrations, it has been proved to reduce the surface tension of water from 71.6 to 28 mNm⁻¹. (Ohno, Ano and Shoda, 1995). In a recent study, the frothing properties of a biosurfactant obtained from *Lactobacillus pentosus*, including surfactin, were evaluated (Vecino, Devesa-Rey, Cruz and Moldes, 2013). The results of this research indicated that, the adsorption properties of the biosurfactant make it a potential frothing agent in flotation. According to similar research, surfactin's exceptional frothing properties were demonstrated by its greater ability to form and stabilize foam at concentrations as low as 0.05 mg/mL (Razafindralambo, Paquot, Baniel, Popineau, Hbid, Jacques and Thonart, 1996). Furthermore, a study demonstrates bioflotation as a promising alternative cleaning technology for the recovery of hematite from iron ore tailings by using a biosurfactant extracted from *Rhodococcus opacus* as a "green" collector (Pereira, Hacha, Torem, Merma, Silvas and Abhilash, 2021). Additional flotation studies also revealed that *R. opacus* has a significant potential as a biocollector of calcite and magnesite (Botero, Torem and de Mesquita, 2007).

Although culturing microorganisms is a costly and time-dependent process, bioflotation applications still have the potential to make this process more profitable on the industrial scale (Banat, 1995; Kinnunen, Miettinen and Bomberg, 2020; Otsuki, 2016; Rahman and Gakpe, 2008; Souza, Vessoni-Penna and de Souza Oliveira,

2014; Varjani and Upasani, 2016; Whang, Liu, Ma and Cheng, 2008). There are still some obstacles to overcome, such as making bioreagent production more economical and easier in large amounts.

In this study, the usability of "surfactin", which has been reported to be used only as a biofrother in the literature, as a magnesite biocollector was investigated. Also, the results of bioflotation were compared with the classical magnesite flotation data obtained with oleate. In all flotation experiments, mathematical models of the process were created by using one of the experimental design methods, Central Composite Design (CCD), the estimation of the optimum conditions and the results were obtained, and the verification experiments were also carried out.

2. Materials and Methods

All analyses and experiments for magnesite flotation were performed comparatively in two parallel sets for surfactin and oleate.

The authors declared that research and publication ethics were followed in this study.

2.1. Materials

Magnesite ore with a purity of 96.4% was obtained from the Eskişehir-Çukurhisar region for this study. X-ray fluorescence spectrometry (XRF Panalytical Zetium, Malvern Panalytical Inc., UK) and X-ray diffraction (XRD Panalytical Empyrean, Malvern Panalytical Inc., UK) analyses were carried out in ESOGU ARUM laboratories to determine the content of magnesite samples. Chemical composition of magnesite studied indicates that 46.108% MgO, 0.171% SiO₂, 0.220% Al₂O₃, 0.475% CaO, 0.070% CuO, 0.034% NiO, 0.045% Fe₂O₃, 52.887% loss of ignition. The results of XRD analysis of magnesite sample are represented in Figure 1.

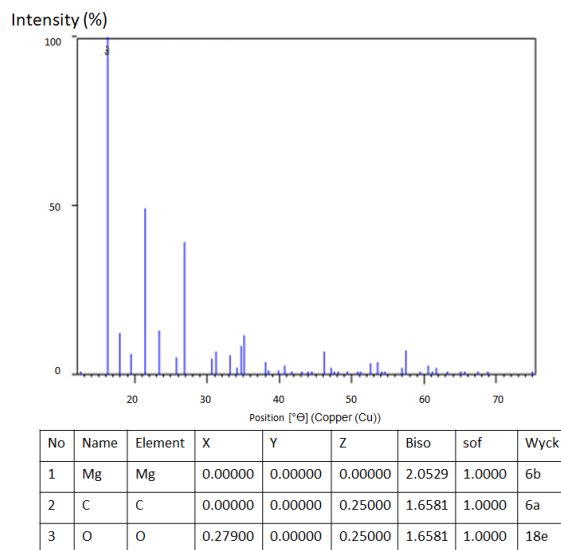


Figure 1. XRD Pattern of Magnesite

Magnesite sample was ground to -0.150 mm by closed-circuit dry grinding-sieving in a laboratory-scale jar type ceramic ball mill to avoid contamination.

Surfactin, a bioreagent obtained from *Bacillus subtilis*, and sodium oleate (SigmaAldrich, Germany) were used as collectors in magnesite flotation. The pH of the experiments was adjusted using analytical grade NaOH and H₂SO₄. Because of surfactin's low water solubility and high molecular weight, organic solvents are usually required to increase its solubility. The solvent used for surfactin purification was ethyl acetate, and the surfactin/ethyl acetate ratio was calculated to be 1/25. Frothing reagent was not used in flotation experiments since surfactin (Shaligram and Singhal, 2010) and oleate had frothing properties.

2.2. Methods

2.2.1. Biosurfactant Extraction

Surfactin is a bacterial cyclic lipopeptide which include both hydrophilic and hydrophobic parts. General chemical formula of surfactin is C₅₃H₉₃N₇O₁₃.

Following the instructions of the study by (Cakmak, Gungormedi, Dikmen, Celik and Cabuk, 2017), *Bacillus subtilis* was used for the production of the biosurfactant. The cell free supernatant containing the biosurfactant was adjusted to pH 2.0 with the addition of HCl (2 M) and stored at 4 °C overnight for the extraction. The solution was centrifuged (10.000 rpm at 4°C for 10 min) and the precipitate was dissolved in etyl acetate. A vacuum concentrator (Labconco Centrivap Concentrator, Labconco Inc., USA) was used to concentrate the final solution.

2.2.2. Flotation Experiments

Flotation experiments were divided into two groups: bio flotation with surfactin and classical flotation studies with oleate. Flotation experiments were carried out in a Denver laboratory scale mechanically stirred flotation machine. Since a high purity magnesite sample was used in the experiments, the results were based solely on magnesite weight yield (WY). Equation 1 was used to calculate magnesite WY.

$$WY = 100 \frac{C}{F} \tag{1}$$

where, WY is the magnesite weight yield (%); C is amount of the floating material (g); F is amount of the feed (g).

In both sets of experiments, conditioning time was kept constant at 8 min and air velocity 5 l/min. Froth was collected through 150 sec. In experiments using oleate, the temperature was kept constant at 26-28 °C while ambient temperature was applied at surfactin flotation.

Central Composite Design (CCD) method, one of the statistical experimental design methods, was applied in all systematic experiments. The α coefficient used in the calculation of the axial points was chosen as 1.6, which is one of the values suggested by the software used. Three parameters were chosen to examine the effect on the amount of weight yield in systematic experiments and to create a mathematical model of the process based on these parameters. Parameters whose effects were examined along with their levels are given in Table 1. According to the chosen method, a total of 20 experiments were performed for each reagent ($2^3+2 \times 3+2 \times 3$). The results of the experimental studies were subjected to analysis of variance (ANOVA) and the statistical significance of the effects of the parameters was evaluated within the 95% confidence interval. The terms with no statistically significant effect at the 95% confidence interval were removed from the model and a "reduced ANOVA Table" was obtained. While creating the reduced ANOVA Table, the main effect terms were

kept in the model even if the effect was insignificant. Thus, the model equations depending on the parameters examined for the effect of the flotation process were obtained.

Table 1

The Examined Effects of the Parameters and Their Levels

Factors		Levels				
Parameters		$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
A	Solid ratio (%)	21.6	25	30	35	38.41
B	pH	6.5	7.5	9	10.5	11.5
C	Collector amount (g/t)					
	Surfactin	65	200	400	600	735
	Oleate	140	1500	3500	5500	6900

After the mathematical models were created, the optimum conditions at the studied levels of the parameters and the magnesite weight yield to be obtained under these conditions were estimated for each experimental set by using convenient module of the software, and the verification experiments were also performed.

3. Results and Discussion

3.1. Flotation Experiments

Table 2 shows the magnesite weight yield results from two sets of magnesite flotation experiments, in which surfactin and oleate were used as collectors, as well as the experiment parameters and levels.

Table 2

Flotation Experiments Results

Exp. No	Parameters and Levels				Weight Yield (%)	
	Solid Ratio (%)	pH	Collector Amount (g/t)		Surfactin	Oleate
1	25	7.5	Surfactin 200	Oleate 1500	42.03	41.7
2	35	7.5	200	1500	49.61	51.1
3	25	10.5	200	1500	39.10	43.8
4	35	10.5	200	1500	51.41	51.3
5	25	7.5	600	5500	55.75	69.2
6	35	7.5	600	5500	60.43	71.9
7	25	10.5	600	5500	53.21	64.7
8	35	10.5	600	5500	60.05	66.1
9	21.60	9.0	400	3500	41.81	45.6
10	38.40	9.0	400	3500	56.57	61.2
11	30	6.5	400	3500	58.39	67.1
12	30	11.5	400	3500	57.18	70.0
13	30	9.0	65	140	29.83	18.9
14	30	9.0	735	6900	63.23	68.9
15	30	9.0	400	3500	54.85	49.3
16	30	9.0	400	3500	50.47	53.4
17	30	9.0	400	3500	52.18	55.7
18	30	9.0	400	3500	48.76	52.1
19	30	9.0	400	3500	50.01	51.9
20	30	9.0	400	3500	48.53	53.0

The reduced ANOVA table obtained from the statistical analyses is also shown in Table 3 for both sets. This Table also includes the coefficient of determination (R^2), and predicted R^2 ($P-R^2$) values of the mathematical models obtained. The consistency of a model with experimental data is represented by R^2 value which is the proportion of the variance in the dependent variable. The compatibility of the model predictions with the experimental data for both surfactin and oleate flotation experimental sets is also shown graphically in Figures 2a and b, respectively. The power of a model is determined by $P-R^2$ which is a measure of how well the model predicts a response value (Khuri and Mukhopadhyay, 2010).

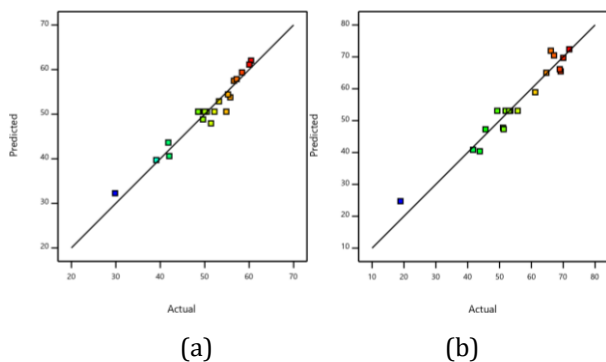


Figure 2. Consistency of a model with experimental data (a) for surfactin (b) for oleate

Table 3

Analysis of Variance Summary (ANOVA) Results.

Source	Surfactin	Oleate	
	p-value	p-value	
Model	<0.0001	<0.0001	significant
A-Solid Ratio	<0.0001	0.0027	significant
B-pH	0.4525	0.8132	
C-Collector Amount	<0.0001	<0.0001	significant
B ²	0.0002	<0.0001	significant
C ²	0.0004	0.0107	significant
Lack of fit	0.7042	0.0771	insignificant
R ²	0.9435	0.9441	
P.R ²	0.8776	0.8278	

Mathematical models of two magnesite flotation sets were also developed. Equation 2 and 3 show the models for magnesite flotation with surfactin (for coded and actual values, respectively), and Equation 4 and 5 show the models for magnesite flotation with oleate (for coded and actual values, respectively). Proposed models by software for surfactin and oleate are significant as p values of models are less than 0.05. p values of Lack of

fit for all models are greater than 0.05 which indicates experimental error is statistically insignificant.

$$WY (\%) = 50.57 + 4.12 A - 0.4456 B + 6.59 C + 2.84 B^2 - 2.55 C^2 \quad (2)$$

$$WY (\%) = 107.53942 + 0.823517 \text{ Solid Ratio} - 23.04859 \text{ pH} + 0.083944 (\text{Collector Amount}) + 1.26397 \text{ pH}^2 - 0.000064 (\text{Collector Amount})^2 \quad (3)$$

$$WY (\%) = 53.09 + 3.46 A - 0.2287 B + 12.31 C + 6.01 B^2 - 2.71 C^2 \quad (4)$$

$$WY (\%) = 220.12936 + 0.691755 \text{ Solid Ratio} - 48.20809 \text{ pH} + 0.010893 (\text{Collector Amount}) + 2.66976 \text{ pH}^2 - 6.7703 \times 10^{-7} (\text{Collector Amount})^2 \quad (5)$$

When the parameter effects and model terms are examined individually, the absence of the interaction term indicates that there is no significant interaction

between the parameters whose effects are investigated in the studied range. It is also noteworthy that the effect of pH is similar in both reagents.

3.2. Verification Results

The possible optimum conditions and estimated weight yield values for magnesite flotation obtained from the model equations created with the help of the relevant module of the software are given in the Table 4. Afterwards, a verification test was performed by using estimated optimum conditions. The same Table also includes the weight yield estimations and the verification results obtained under these conditions. As can be seen from Table 4 verification test results fell in estimated values that indicates the validity and adequacy of the predicted models.

Table 4
Optimum Conditions, Estimated and Experimental Results.

	Parameter		Weight Yield (%)			Exp. Result
	Parameter	Value	Minimum	Average	Maximum	
1 (Surfactin)	A (Solid Ratio; %)	35	59.58	62.01	64.46	63.15
	B (pH)	7,5				
	C (Coll. Amount; g/t)	600				
2 (Oleate)	A (Solid Ratio; %)	35	67.91	71.93	75.95	68.52
	B (pH)	10,5				
	C (Coll. Amount; g/t)	5500				

4. Conclusions

In this study, the usability of surfactin, which is used as a biocollector, in magnesite flotation was investigated. In addition, the obtained results were compared with the results of a set of classical magnesite flotation using oleate to demonstrate the efficacy of surfactin.

In the design method used, the parameters were studied for 3 levels (-1; 0; +1 as coded levels). When the results for the studied levels of the parameters are examined, it can be seen that increasing the amount of reagent in both flotations increases the weight yield and the maximum yields were obtained in the amount of collector coded as +1. Maximum yields were approximately 60.4% at 600 g/t collector amount for surfactin, while approximately 72% at 5500 g/t collector amount for oleate. Considering the possible effect of using more amount of collectors (+alpha collector levels; 735 g/t for surfactin; 6900 g/t for oleate), it can be seen that the increase in the amount of surfactin increases the weight yield (to 63.23%), while the increase in the amount of oleate affects the weight

yield negatively (approximately 69%). It was thought that the reason for this effect in oleate was that the use of excessive amounts of reagents caused micelle formation and adversely affected the process. The result obtained in surfactin showed that higher weight yield could be obtained with the increasing reagent amounts. When comparing the two flotation reagents in terms of collector amount: oleate consumes 9 times more than surfactin that was quite remarkable. Regarding the flotation temperature, surfactin works effectively at ambient temperatures, whereas oleate requires a higher temperature, such as 27°C. Although oleate has a significant cost advantage in terms of reagents, the fact that surfactin was used in much lower amounts per unit ore, that it works independently of temperature, and, most importantly, that it is eco-friendly, makes it more prominent. These data, however, must be clarified through detailed feasibility analyses. Nonetheless, novel strategies for increasing surfactin yields are required to reduce production costs.

Acknowledgements

This study was supported by Eskisehir Osmangazi University Scientific Research Projects Committee (Project No: 2019-2733) and the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) (Project no:119M711)

Contribution of Researchers

Author1, Author2, and Author3 contributed to literature research and experimental studies. Author4 and Author5 contributed to biosurfactant production and funding acquisition. Author6 and Author7 contributed to project consultancy and evaluation of the results.

Declaration of Competing Interest

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

References

- Arima, K., Kakinuma, A., & Tamura, G. (1968). Surfactin, a crystalline peptidolipid surfactant produced by *Bacillus subtilis*: Isolation, characterization and its inhibition of fibrin clot formation. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 31(3), 488-494. doi: [https://doi.org/10.1016/0006-291X\(68\)90503-2](https://doi.org/10.1016/0006-291X(68)90503-2)
- Amini, E., Hosseini, T.R., Oliazadeh, M., & Kolahdoozan, M. (2009). Application of *Acidithiobacillus ferrooxidans* in coal flotation. *Int. J. Coal Prep. Util.*, 29(6), 279-288. doi: <https://doi.org/10.1080/19392690903558314>
- Atkins, A.S., Bridgwood, E.W., Davis, A.J., & Pooley, F.D. (1987) A study of the suppression of pyritic sulphur in coal froth flotation by *Thiobacillus ferrooxidans*. *Coal Prep.*, 5(1-2), 1-13. doi: <https://doi.org/10.1080/07349348708945553>
- Attia, Y.A., Elzeky, M., & Ismail, M. (1993). Enhanced separation of pyrite from oxidized coal by froth flotation using biosurface modification. *Int. J. Miner. Process.*, 37, 61-71. doi: [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(93\)90005-U](https://doi.org/10.1016/0301-7516(93)90005-U)
- Banat, I.M. (1995). Biosurfactants production and possible uses in microbial enhanced oil recovery and oil pollution remediation: A REVIEW. *Bioresour. Technol.*, 51, 1-12. doi: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)00101-6](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)00101-6)
- Behera, S.K., & Mulaba-Bafubiandi, A.F. (2017). Microbes assisted mineral flotation a future prospective for mineral processing industries: A Review. *Miner. Proc. Ext. Met.*, 38(2), 96-105. doi: <https://doi.org/10.1080/08827508.2016.1262861>
- Bleeze, B., Zhao, J., & Harmer, S.L. (2018). Selective attachment of *Leptospirillum ferrooxidans* for separation of chalcopyrite and pyrite through bio-flotation. *Minerals*, 8(3). doi: <https://doi.org/10.3390/min8030086>
- Botero, A.E.C., Torem, M.L., & de Mesquita, L.M.S. (2007). Fundamental studies of *Rhodococcus opacus* as a biocollector of calcite and magnesite. *Miner. Eng.*, 20(10), 1026-1032. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.03.017>
- Botero, A.E.C., Torem, M.L., & de Mesquita, L.M.S. (2008). Surface chemistry fundamentals of biosorption of *Rhodococcus opacus* and its effect in calcite and magnesite flotation. *Miner. Eng.*, 21(1), 83-92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.08.019>
- Cakmak, H., Gungormedi, G., Dikmen, G., Celik, P., & Cabuk, A. (2017). The true methodology for rhamnolipid: Various solvents affect rhamnolipid characteristics. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 110(10). doi: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700002>
- Consuegra, G.L., Kutschke, S., Rudolph, M., & Pollmann, K. (2020). Halophilic bacteria as potential pyrite bio-depressants in Cu-Mo bioflotation. *Miner. Eng.*, 145., 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106062>
- Davis, A.J., & Atkins, A.S. (1988). A comparison between *Thiobacillus ferrooxidans* and biological by-products in the desulphurisation of coal fines in flotation. *Resour. Conserv. Recycl.*, 1, 223-231. doi: [https://doi.org/10.1016/0921-3449\(88\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0921-3449(88)90018-3)
- Dwyer, R., Bruckard, W.J., Rea, S., & Holmes, R.J. (2012). Bioflotation and bioflocculation review: microorganisms relevant for mineral beneficiation. *Miner. Proc. Ext. Met.*, 121(2), 65-71. doi: <https://doi.org/10.1179/1743285512Y.0000000005>
- El Zeky, M., & Attia, Y.A. (1987). Coal slurries desulfurization by flotation using Thiophilic bacteria for pyrite depression. *Coal Prep.*, 5(1-2), 15-37. doi: <https://doi.org/10.1080/07349348708945554>
- Farahat, M., Hirajima, T., Sasaki, K., Aiba, Y., & Doi, K. (2008). Adsorption of SIP *E. coli* onto quartz and its applications in froth flotation. *Miner. Eng.*, 21(5), 389-395. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.10.019>
- Farghaly, M., Abdel-Khalek, N., Abdel-Khalek, M., Selim, K., & Abdullah, S. (2020). Physicochemical study and application for pyrolusite separation from high manganese-iron ore in the presence of microorganisms. *Physicochem. Probl. Miner. Process.*,

- 57(1), 273-284. doi: <https://doi.org/10.37190/ppmp/131944>
- Gautam, K.K., & Tyagi, V.K. (2006). Microbial Surfactants: A Review. *J. Oleo Sci.*, 55(4), 155-166. doi: <https://doi.org/10.5650/jos.55.155>
- Gholami, A., & Khoshdast, H. (2020). Using artificial neural networks for the intelligent estimation of selectivity index and metallurgical responses of a sample coal bioflotation by rhamnolipid biosurfactants. *Energy Sources A: Recovery Util. Environ. Eff.*, 1-19. doi: <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1857477>
- Khuri, A., & Mukhopadhyay, S. (2010) Response surface methodology. *Wiley Interdiscip. Rev. Comput. Stat.* 2(2), 128-149. doi: <https://doi.org/10.1002/wics.73>
- Kim, G., Park, K., Choi, J., Gomez-Flores, A., Han, Y., Choi, S.Q., & Kim, H. (2015). Bioflotation of malachite using different growth phases of *Rhodococcus opacus*: Effect of bacterial shape on detachment by shear flow. *Int. J. Miner. Process.*, 143, 98-104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2015.09.012>
- Kinnunen, P., Miettinen, H., & Bomberg, M. (2020). Review of potential microbial effects on flotation. *Minerals*, 10(6), 1-14. doi: <https://doi.org/10.3390/min10060533>
- La Vars, S.M., Quinton, J.S., & Harmer, S.L. (2021). Surface characterisation of pyrite exposed to *A. brierleyi*. *Miner. Eng.*, 168, 1-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.106934>
- Lopez, L.Y., Merma, A.G., Torem, M.L., & Pino, G.H. (2015). Fundamental aspects of hematite flotation using the bacterial strain *Rhodococcus ruber* as bioreagent. *Miner. Eng.*, 75, 63-69. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.12.022>
- Mehrabani, J.V., Mousavi, S.M., & Noaparast, M. (2011). Evaluation of the replacement of NaCN with *Acidithiobacillus ferrooxidans* in the flotation of high-pyrite, low-grade lead-zinc ore. *Sep. Purif. Technol.*, 80(2), 202-208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.04.006>
- Merma, A.G., Torem, M.L., Moran, J.J.V., & Monte, M.B.M. (2013). On the fundamental aspects of apatite and quartz flotation using a Gram positive strain as a bioreagent. *Miner. Eng.*, 48, 61-67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2012.10.018>
- Nagaoka, T., Ohmura, N., & Saiki, H. (1999). A novel mineral flotation process using *Thiobacillus ferrooxidans*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65(8), 3588-3593. doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.65.8.3588-3593.1999>
- Natarajan, K.A., & Padukone, S.U. (2012). Microbially-induced separation of quartz from hematite using yeast cells and metabolites. *Miner. Metall. Proc.*, 29(2), 81-87. doi: <https://doi.org/10.1007/BF03402398>
- Ohno, A., Ano, T., & Shoda, M. (1995). Production of a Lipopeptide Antibiotic, Surfactin, by Recombinant *Bacillus subtilis* in Solid State Fermentation. *Biotechnol. Bioeng.*, 47(2), 209-214. doi: <https://doi.org/10.1002/bit.260470212>
- Otsuki, A. (2016). Use of microorganisms for complex ore beneficiation: Bioflotation as an example, In *Encyclopedia of Biocolloid and Biointerface Science*, ed. Ohshima, H., 1 ed, pp. 108-117. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119075691.ch8>
- Pereira, A.R.M., Hacha, R.R., Torem, M.L., Merma, A.G., Silvas, F.P.C., & Abhilash, A. (2021). Direct hematite flotation from an iron ore tailing using an innovative biosurfactant. *Sep. Sci. Technol.*, 1-11. doi: <https://doi.org/10.1080/01496395.2021.1873374>
- Rahman, P.K.S.M., & Gakpe, E. (2008). Production, characterisation and applications of biosurfactants- Review. *Biotechnology*, 7(2), 360-370. doi: <https://doi.org/10.3923/biotech.2008.360.370>
- Razafindralambo, H., Paquot, M., Baniel, A., Popineau, Y., Hbid, C., Jacques, P., & Thonart, P. (1996). Foaming properties of surfactin, a lipopeptide biosurfactant from *Bacillus subtilis*. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 73(1), 149-151. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02523463>
- Santhiya, D., Subramanian, S., & Natarajan, K.A. (2002). Surface chemical studies on sphalerite and galena using extracellular polysaccharides isolated from *Bacillus polymyxa*. *J. Colloid Interface Sci.*, 256(2), 237-248. doi: <https://doi.org/10.1006/jcis.2002.8681>
- Sanwani, E., Chaerun, S., Mirahati, R., & Wahyuningsih, T. (2016). Bioflotation: Bacteria-mineral interaction for eco-friendly and sustainable mineral processing, In *5th International Conference on Recent Advances in Materials, Minerals and Environment*, pp. 666-672. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.068>
- Sarvamangala, H., & Natarajan, K.A. (2011). Microbially induced flotation of alumina, silica/calcite from haematite. *Int. J. Miner. Process.*, 99(1-4), 70-77. doi: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2011.04.003>
- Shaligram, N.S., & Singhal, R.S. (2010). Surfactin - A Review on Biosynthesis, Fermentation, Purification and Applications. *Food Technol. Biotechnol.*, 48(2), 119-134.
- Smith, R.W., & Miettinen, M. (2006). Microorganisms in flotation and flocculation: Future technology or laboratory curiosity? *Miner. Eng.*, 19(6-8), 548-553. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.09.007>

- Souza, E.C., Vessoni-Penna, T.C., & de Souza Oliveira, R.P. (2014). Biosurfactant-enhanced hydrocarbon bioremediation: An overview. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 89, 88-94. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.007>
- Townsley, C.C., Atkins, A.S., & Davis, A.J. (1987). Suppression of pyritic sulphur during flotation tests using the bacterium *Thiobacillus ferrooxidans*. *Biotechnol. Bioeng.*, 30, 1-8. doi: <https://doi.org/10.1002/bit.260300102>
- Varjani, S.J., & Upasani, V.N. (2016). Core Flood study for enhanced oil recovery through ex-situ bioaugmentation with thermo- and halo-tolerant rhamnolipid produced by *Pseudomonas aeruginosa* NCIM 5514. *Bioresour. Technol.*, 220, 175-182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.060>
- Vasanthakumar, B., Ravishankar, H., & Subramanian, S. (2014). Basic studies on the role of components of *Bacillus megaterium* as flotation biocollectors in sulphide mineral separation. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 98(6), 2719-2728. doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5251-9>
- Vecino, X., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M., & Moldes, A.B. (2013). Evaluation of biosurfactant obtained from *Lactobacillus pentosus* as foaming agent in froth flotation. *J. Environ. Manage.*, 128, 655-660. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.06.011>
- Whang, L.M., Liu, P.W., Ma, C.C., & Cheng, S.S. (2008). Application of biosurfactants, rhamnolipid, and surfactin, for enhanced biodegradation of diesel-contaminated water and soil. *J. Hazard. Mater.*, 151(1), 155-163. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.05.063>
- Yang, H., Li, T., Tang, Q., Wang, C., & Ma, W. (2013). Development of a bio-based collector by isolating a bacterial strain using flotation and culturing techniques. *Int. J. Miner. Process.*, 123, 145-151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2013.06.004>
- Yang, Z., Feng, Y., Li, H., Wang, W., & Teng, Q. (2014). Effect of biological pretreatment on flotation recovery of pyrolusite. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 24(5), 1571-1577. doi: [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(14\)63227-1](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(14)63227-1)
- Yehia, A., Khalek, M.A., & Ammar, M. (2017). Cellulase as a new phosphate depressant in dolomite-phosphate flotation. *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, 53(2), 1092-1104. doi: <https://doi.org/10.5277/ppmp170232>
- Zhao, J.M., Wu, W.J., Zhang, X., Zhu, M.L., & Tan, W.S. (2017). Characteristics of bio-desilication and bio-flotation of *Paenibacillus mucilaginosus* BM-4 on aluminosilicate minerals. *Int. J. Miner. Process.*, 168, 40-47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2017.09.002>
- Zheng, X., Arps, P.J., & Smith, R.W. (2001). Adhesion of two bacteria onto dolomite and apatite: their effect on dolomite depression in anionic flotation. *Int. J. Miner. Process.*, 62, 159-172. doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(00\)00050-8](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(00)00050-8)

DALGACIK UYUMU ANALİZİ İLE OPTİMUM VİSKOZ DAMPER KAPASİTESİ HESABIElif Çağda KANDEMİR^{1*}¹ İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir,
ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-8889-5587>

Anahtar Kelimeler	Öz
Dalgacık dönüşümü Doğrusal viskoz damper Optimizasyon Dalgacık uyumu	<i>Bilindiği üzere, bitişik yapılar şiddetli bir deprem esnasında birbirlerine çarparak çekiçleme kuvveti oluşturabilmekte ve bunun sonucunda bu yapılarda hasar ve hatta yıkımlar gözlenebilmektedir. Yapıları enerji sönümleyici elemanlarla donatmak veya birbirine bağlamak, çarpışmayı önleyen yöntemlerden biridir. Bu çalışmada tek serbestlik dereceli (TSD) bir sistemin rijit bir duvara çarpması sonucu oluşan sismik davranış incelenmiş ve çarpışmayı önleyecek viskoz damper kapasitesi optimizasyon çalışmasıyla belirlenmiştir. Çekiçleme kuvvetlerinin oluşmaması için yapının deprem yükü etkisindeki yer değiştirme tepkileri sınırlandırılmalıdır. Çeşitli açıklık değerleri için sismik tepkiler analiz edilerek, çarpışmanın olmadığı ve olduğu durumlarda görülen yer değiştirme tepkilerinin frekans-zaman ilişkileri sürekli dalgacık dönüşümü ile incelenmiştir. Böylece yer değiştirme sinyalinin frekans içeriğindeki değişimler tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, yer değiştirmeyi sınırlayarak çekiçleme kuvvetini sıfıra indirgeyen minimum doğrusal viskoz damper (DVD) kapasitesi de optimizasyon çalışması ile araştırılmıştır. Bu çalışmada, bir ilk olarak yer değiştirme zaman serilerinin dalgacık uyumu analizleri yapılmıştır. Çarpışmanın olmadığı durum ile çeşitli açıklık değerleri için çarpışmanın olduğu yer değiştirme tepkileri arasında uyum katsayıları hesaplanmıştır. Çekiçleme kuvveti sıfır olana kadar ek sönüm oranları kademeli bir şekilde artırılmış ve uyum katsayılarını 1'e yakınsayan sönüm oranı, yapıya eklenmesi gereken ek sönüm oranı olarak belirlenmiş ve damper kapasitesi hesaplanmıştır. Optimizasyon çalışması ile elde edilen DVD sönüm katsayısı sisteme eklendiğinde, çekiçleme kuvvetinin oluşmadığı gözlenmiştir.</i>

OPTIMIZATION OF VISCOUS DAMPER CAPACITY BY WAVELET COHERENCE

Keywords	Abstract
Wavelet transform Linear viscous damper Optimization Wavelet coherence	<i>It is well known that adjacent structures may collide with each other during severe earthquake leading to pounding force, and as a result, damage and even destruction can be observed in these structures. Implementing or connecting structures with energy dissipaton elements is one of the ways to avoid collisions. In this study, the seismic behavior of a single degree of freedom (TSD) system pounding to a rigid wall was investigated and the viscous damper capacity to prevent the collision was determined by optimization study. The displacement responses of the structure under the earthquake load is required to be limited in order to prevent the occurrence of pounding forces. By analyzing the seismic responses for various gap values, the frequency-time relationship of the displacement responses observed in the absence and presence of collisions were investigated by continuous wavelet transform. Thus, the differences in the frequency content of the displacement signal for variable gap values were determined. In addition to these, the minimum linear viscous damper (LVD) capacity, which vanishes the pounding force was also investigated by the optimization study. In this study, wavelet</i>

* Sorumlu yazar; e-posta : elifcagda.kandemir@idu.edu.tr

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/>).

coherence analyzes of displacement time series were performed as a first. Coefficients of coherence between the collision-free state and the collision-induced displacement responses for various gap values were obtained. The additional damping ratios were increased gradually until the pounding force became zero. The damping ratio, was determined as the additional damping ratio that should be added to the structure when wavelet coherences converged to 1, and the damper capacity was calculated. When the LVD damping coefficient obtained by the optimization study was added to the system, it was observed that the pounding does not occur.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 13.10.2021	Submission Date	: 13.10.2021
Kabul Tarihi	: 08.02.2022	Accepted Date	: 08.02.2022

1. Giriş

Farklı dinamik karakteristiklere ve yetersiz deprem derzlerine sahip bitişik yapıların, deprem etkisi altında birbirlerine çarparak hasar ve hatta yıkıma maruz kalması sık karşılaşılan bir durumdur. Yapılarda gözlenen farklı yer değiştirmeler neticesinde, çekiçleme kuvvetleri oluşur. Alınabilecek en basit önlem, yapıları aralarında yeterli boşluk olacak şekilde inşa etmek olsa da hızlı şehirleşmenin etkisiyle, kısıtlı arazi imkânı ve buna bağlı olarak arazi fiyatlarının artması, birbirine yakın yapılar inşa etmeyi gerektirmektedir.

Yıkılmanın ve hasar oluşumunun önüne geçmek amacıyla pek çok yöntem geliştirilmiştir. Boşluk arasına esnek malzeme yerleştirmek, iki yapıyı birbirine bağlamak, bitişik yapılardan birini ya da ikisini sismik enerji sönümleyiciler ile donatmak gibi yöntemler literatürde sıkça uygulanan yöntemlerdir (Miari, Choong ve Jankowski, 2019; Folhento, Barros ve Braz-César, 2021; Kazemi, Miari ve Jankowski, 2021).

Bu çalışmada yapıya doğrusal viskoz damper (DVD) eklenerek, çarpışmanın önlenmesi amaçlanmıştır. Sismik sönümleyici ve izolatörlerde asıl soru, istenen performansı sağlayacak cihazın kapasite seçimini yapmaktır. Üretimler fabrikaların kendilerine göre belirlediği çeşitlilikte yapıldığı için, bir mühendis elindeki projeye uygun cihaz kapasitesini bulmak için önce hesap yapmalı daha sonra uygun üretici seçmelidir. Elbette, cihaz kapasitesi arttıkça, sismik tepkiler daha çok sınırlandırılacak ancak ekonomik olmaktan uzaklaşacaktır. Bu durumda istenen performansı sağlayan minimum cihaz kapasitesi optimizasyon çalışması ile belirlenebilmektedir.

Sunulan çalışmada, deprem esnasında rijit duvara çarpan TSD yapı sisteminin yer değiştirme tepkileri Morlet sürekli dalgacık dönüşümü ile incelenmiştir. Ölçek-zaman bilgilerinden frekans-zaman bilgileri elde edilerek çarpışmanın olmadığı ve olduğu durumlar irdelenmiştir. Çeşitli açıklık miktarlarına göre yer değiştirme tepkilerindeki frekans bileşenleri ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur. Bunlara ek olarak, çarpışmayı önlemek adına sisteme DVD eklenmiştir. Optimizasyon çalışmasında, amaç fonksiyonu minimum damper kapasitesidir. Çarpışma olan ve olmayan yapının yer

değiştirme sinyalleri arasında dalgacık uyumu analizi gerçekleştirilmiştir. Bu katsayıları maksimum yapan ek sönüm oranı, viskoz damper kapasitesi olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada bütün analizler Matlab programında yapılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

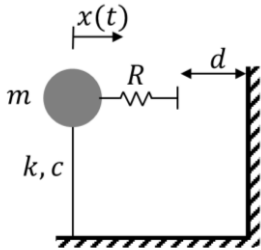
Viskoz damper ile ilgili çalışmalar çoğunlukla damper kapasitesi hesabı ve yerleşimi ile ilgilidir. Akehashi ve Takewaki (2020), kritik deprem etkileri altında çok serbestlik dereceli sistemler için optimum damper yerleşimini transfer fonksiyonu kullanarak yapmıştır. Del Gobbo, Williams ve Blakeborough (2018), çok katlı yapılara damper yerleştirme konfigürasyonlarını, yapıların sismik performansını gözeterek incelemiş ve ele alınan yerleştirme düzenleri ile yapıda hem ivme hem de kesme kuvvetini optimum yapan bir sonuca ulaşamadığını belirtmiştir. Noruzvand, Mohebbi ve Shakeri (2020) yapılardaki yüksek mod etkilerini de dikkate alarak viskoz damper kapasitesi hesaplamıştır.

Dalgacık dönüşümü, sinyalleri ölçek-zaman düzleminde ayrıştırabilmesi açısından oldukça avantajlıdır. Fourier dönüşümü, en bilinen frekans ayrıştırma metodu olsa dahi, son yıllarda frekans bilgisini zaman tanım alanında sunan dalgacık dönüşümü giderek daha yaygın kullanım alanına sahip olmaktadır. Kısa zamanlı Fourier dönüşümde sabit zamanlı pencere fonksiyonu ile frekans içerikleri elde edilirken, dalgacık dönüşümünde dalgacık denilen ve uzayıp kısılabilen, kaydırılabilen bir fonksiyon ile sinyalin frekans içeriklerine ulaşılır. Dalgacık fonksiyonları, sınırlı süreli ve sıfır ortalamaya sahip fonksiyonlardır. Yüksek ölçek değerleri sinyalin uzun zaman aralığındaki düşük frekans bilgisi içerirken, düşük ölçek değerleri de kısa zaman aralığındaki yüksek frekans bilgilerini içermektedir. Dalgacık dönüşümleri sürekli ve ayrık dalgacık dönüşümü olarak ikiye ayrılmakta olup, aralarındaki fark, sürekli dalgacık dönüşümünün her bir veri için ölçek değerlerini hesaplayarak işlem hacmini artırmasından ileri gelmektedir. Sismik verilerin analizinde Morlet dalgacığının uygunluğu literatürde yer almaktadır (Shama, 2012; Zhao ve Zhang, 2021).

Dalgacık uyumu regresyon analizine benzetilebilir. Aynı tür sinyallerin, bağlı oldukları parametreler değiştiğinde aralarındaki benzerliğin durumu dalgacık uyumu metoduyla belirlenebilmektedir. Sismik tepkiler, beyin ve kalp sinyalleri gibi durağan olmayan zaman serilerinin korelasyon ölçütünü elde etmek için dalgacık uyumu analizi yapılabilmektedir (Cui, X., Bryant, D.M. ve Reiss, A.L., 2012; Zhang, Noah, Dravida ve Hirsch, 2020; Singh, Saini ve Sunkaria, 2018; Zhao, Laguna, Zhao, Liu, He, Yianni ve Sarrigiannis, 2018).

3. Yöntem

Çalışmada, TSD bir yapının Düzce depremi altında meydana gelen sismik tepkileri ve komşu rijit duvara çarpma olayı sürekli dalgacık dönüşümü yöntemiyle incelenmiştir. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Yapının kesme tipi yapı olduğu varsayılmıştır. Kütlesi (m) 1×10^5 kg, rijitliği (k) 9.8×10^5 N/m ve sönüm oranı %5 olarak ele alınmıştır. Deprem ivmeleri PEER yer hareketi veri tabanı kullanılarak Bayraklı ilçesi deprem spektrumuna uygun olacak şekilde ölçeklendirilmiştir (<https://ngawest2.berkeley.edu/>). Deprem etkisi altında oluşan yer değiştirmeler farklı açıklık değerleri (1, 5, 10 ve 15 cm) göz önüne alınarak Newmark- β nümerik integrasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. Yapı ile rijit duvar arasındaki ilişki ise, doğrusal olmayan Hertz modeli ile modellenmiştir (Jankowski, 2005). Çalışılan sistem Şekil 1.'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Tek serbestlik dereceli model

Bu modelde, açıklık kapandığında aktif hale geldiği kabul edilen elastik bir yay bulunduğu varsayılır. Çekiçleme kuvveti (F_p), bağıl yer değiştirmenin (δ) üssel bir fonksiyonu olup

$$F_p(t) = \begin{cases} R\delta(t)^{3/2}, & \delta(t) \geq 0 \\ 0, & \delta(t) < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\delta(t) = x_1(t) - x_2(t) - d \quad (2)$$

ile hesaplanmaktadır. Yay sabiti, R , Van Mier ve diğ. (1991) tarafından beton yüzeyler üzerinde yapılan deneylerle elde edilmiş olup $40 \text{ kN/mm}^{3/2}$ and $80 \text{ kN/mm}^{3/2}$ olarak hesaplanmıştır. Çalışmamızda bağıl yer değiştirme (δ) hesabında 2. binanın yer değiştirmesi ($x_2(t) = 0$) sıfırdır. d ise yapılar arasındaki

açıklık miktarını göstermektedir. $\delta(t) \geq 0$ iken sistem yer değiştirmesi açıklık miktarından fazladır ve F_p kuvveti oluşmaktadır. $\delta(t) < 0$ olduğu durumda ise sistem yer değiştirmesi açıklık miktarından az olduğundan çarpışma gözlenmemektedir. Dalgacık dönüşümü yöntemi, Fourier yönteminden farklı olarak sinyallerin frekans bilgilerini zaman tanım alanında sunabilmektedir. Dalgacık katsayıları, uygun şekilde ölçeklendirilmiş ve kaydırılmış dalgacıklar ile orijinal sinyalin çarpılması ile bulunur (Misiti, Misiti, Oppenheim ve Poggi, 2004).

$$C(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot \psi(a, b, t) dt \quad (3)$$

$$\psi(a, b, t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) \quad (4)$$

$\psi(a, b, t)$ ana dalgacık olup, a ve b sırasıyla ölçekleme ve kaydırma faktörleridir. Sonuç olarak sinyal ile ölçeklenmiş dalgacığın benzerlik katsayısı ölçek-zaman grafiğine işlenir. Çalışmada, yer değiştirme tepkilerinin Morlet dalgacık dönüşümü ile ölçek-zaman grafikleri incelenmiş, ek olarak frekans-zaman bilgileri de elde edilmiştir. Grafiklerde çekiçleme kuvvetinin meydana geldiği durumlar gözlemlenmiştir. Ayrıca yer değiştirme tepkileri arasında dalgacık uyumu analizi yapılmıştır. Dalgacık uyumunda iki sinyalin arasındaki benzerlik incelenir ve uyum katsayıları (<https://www.mathworks.com>),

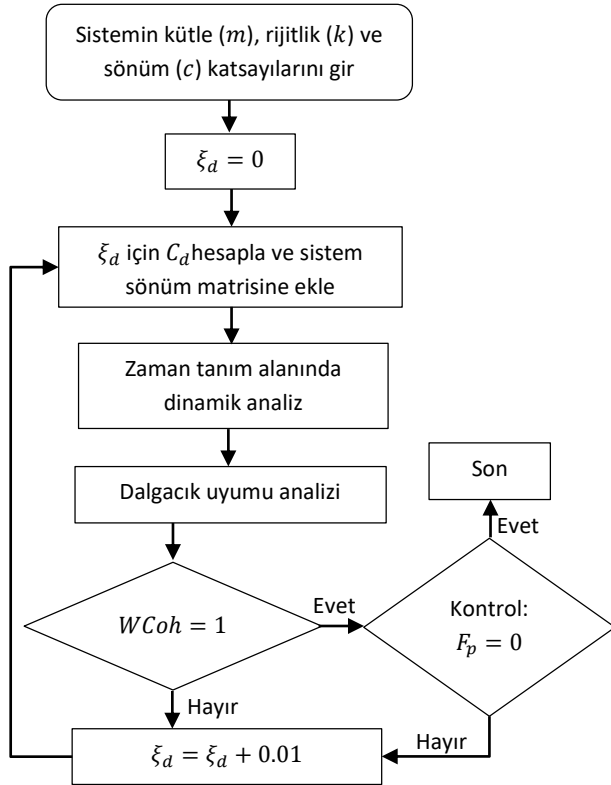
$$WCoh = \frac{|S(C_x^*(a, b)C_y(a, b))|^2}{S(|C_x(a, b)|^2) \cdot S(|C_y(a, b)|^2)} \quad (5)$$

ile hesaplanır. Burada $C_x(a, b)$ ve $C_y(a, b)$, x ve y sinyallerinin a ölçekleri ve b konumlarında sürekli dalgacık dönüşümlerini gösterir. Üst simge * karmaşık eşleniği olup S , zaman ve ölçek parametrelerini düzleştirme operatörüdür. Analiz sonucunda elde edilen uyum katsayıları, frekans-zaman düzleminde işaretlenir. Sunulan grafiklerde varsayılan renklendirme durumuna göre, sarı renkler yüksek uyumu tanımlarken, mavi renkler de uyumun olmadığı durumları tanımlamaktadır. Kesikli çizgiyle belirtilen koni içinde kalan alan da frekans tanımlamasının yapıldığı bölgeyi belirtmektedir. Bu şekilde elde edilen grafikler sonraki adımda optimizasyon çalışmasında incelenmiştir.

Yapı sisteminde çarpışmayı önlemek için, yapıya doğrusal viskoz damper eklenmiştir. Visköz damper sönüm katsayısı (kapasitesi), damperin yatay doğrultuda eklendiği durum için,

$$C_d = \frac{\xi_d 4\pi m \phi^2}{T \phi^2} \quad (6)$$

ile bulunmaktadır (Pekcan, Mander ve Chen, 1999). Burada ilgili formül TSD sistem için yazılmış olup, ξ_d ek sönüm oranı, m kütle, ϕ mod yer değiştirmesi, T doğal periyodu ifade etmektedir. Optimizasyon çalışmasında ξ_d kademeli şekilde artırılarak her bir adım için dalgacık uyumu katsayıları kontrol edilmiştir. Katsayıların 1 veya 1'e yakın olduğu durumlar, uyum katsayıları grafiklerinde sarı dalgalar ile renklendirildiğinden, yoğunlukla sarı renkli grafik elde edildiğinde çalışma sonlandırılarak damper kapasitesi hesaplanmıştır. Algoritmaya ait akış şeması Şekil 2'de gösterilmektedir. İncelenen 4 durum için 4 farklı damper kapasitesi bulunmuştur.



Şekil 2. Akış şeması

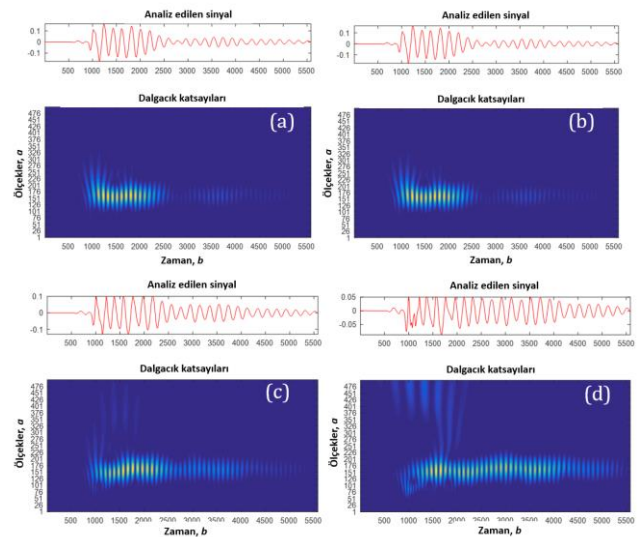
4. Bulgular

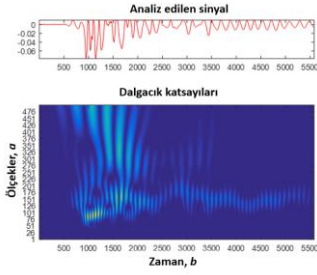
Sürekli dalgacık dönüşümlerinin grafiği, ölçeklendirilmiş (a) ve kaydırılmış (b) Morlet dalgacığı ile sinyalin arasındaki korelasyonu, ölçek-zaman düzleminde göstermektedir. Varsayılan renklendirmeye göre mavi renk düşük korelasyonu, kırmızı renk ise yüksek korelasyonu ifade etmektedir. Ölçek parametresi, frekansın çarpıma göre tersidir. Böylelikle, düşük ölçek değerleri sinyaldeki yüksek frekans içeriklerini, yüksek ölçek değerleri de düşük

frekans içeriklerini göstermektedir. Bunlara ek olarak, sinyaldeki ani değişkenlikler, düşük ölçekli dalgacıkla tespit edilirken, daha yavaş değişkenlikler yüksek ölçekli dalgacıkla tespit edilebilmektedir.

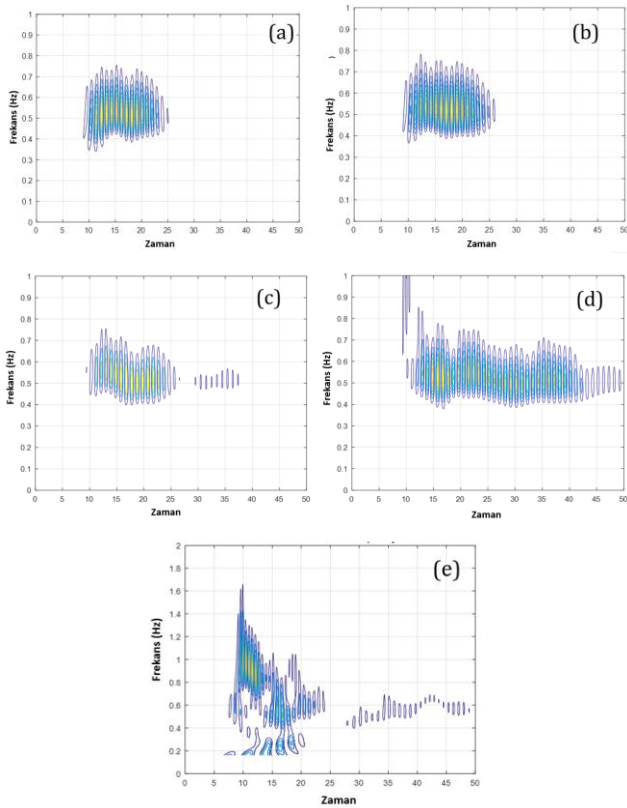
Yer değiştirme tepkilerinin sürekli dalgacık dönüşümleri Şekil 3'te verilmiştir. Ölçek 1:500 olarak alınmış olup, açıklık miktarı azaldıkça, büyük ölçek aralığının daha geniş zamana yayıldığı görülmektedir. Açıklığın en dar olduğu 1 cm durumunda is en büyük ölçeklerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Grafiklerde göze çarpan farklı dalgalanmalar çekiçleme kuvvetlerinin her durum için değişik şekilde meydana geldiğini ifade etmektedir. Özellikle açıklık miktarı azaldıkça, sinyaldeki düşük frekans içeriklerine ek olarak yüksek frekans içeriklerinin de oluştuğu görülmektedir. Bu da çarpışma sayısının arttığını göstermektedir.

Ölçek-zaman grafiklerine göre daha net ve sınırların belli olduğu bir görüntü sağlayan frekans-zaman grafikleri de Şekil 4'te verilmiştir. Yapı ile duvar arasındaki açıklık miktarı azaldıkça frekans bant aralığının daha geniş zamana yayıldığı tespit edilmiş olup, bu durum çekiçleme kuvvetinin daha sık gözlemlendiğini işaret etmektedir. $d=15$ ve 10 cm olduğu durumlarda, çekiçleme kuvvetinin 10 ile 20 s aralığında ve 0.5 Hz frekans değerinde olduğu söylenebilmektedir. Ancak $d=5$ ve 1 cm iken Şekil 3'ü doğrular nitelikte, daha çok sayıda çarpışmanın meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, grafiklerde sarı renkli kısımlar çarpışmanın şiddeti hakkında bilgi vermekte olup, yine açıklık miktarı azaldıkça çarpışmanın şiddetinin arttığı sonucuna ulaşılabilmektedir.





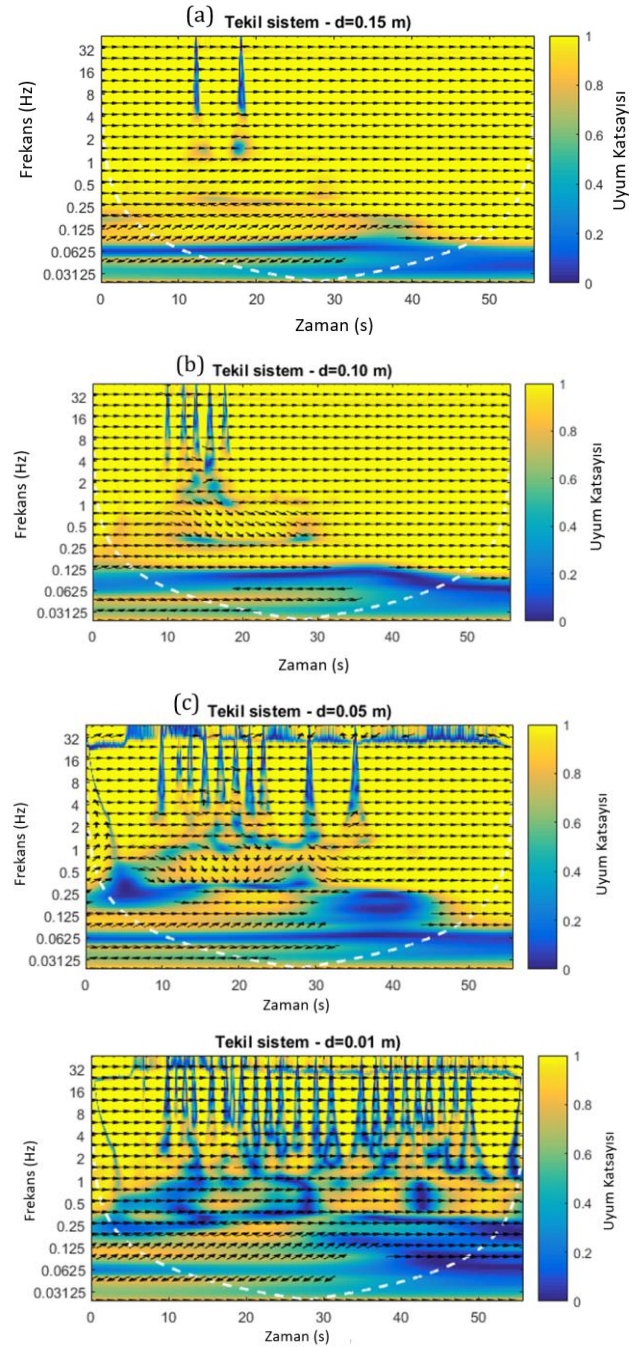
Şekil 3. Sürekli Dalgacık Dönüşümleri Ölçek-Zaman Grafikleri (a) Çarpışma yok (b) $d=15$ cm (c) $d=10$ cm (d) $d=5$ cm (e) $d=1$ cm



Şekil 4. Frekans-Zaman Düzleminde Dalgacık Katsayıları (a) Çarpışma yok (b) $d=15$ cm (c) $d=10$ cm (d) $d=5$ cm (e) $d=1$ cm

Yer değiştirme tepkilerinin sürekli dalgacık dönüşümleri, çekiçleme kuvvetlerinin görülme sıklığı ve şiddeti hakkında bilgi vermektedir. Farklı açıklık değerleri için çarpışmaların görüldüğü frekans ve zaman bilgileri değişkenlik göstermektedir. DVD kapasite hesabı için yürütülecek olan optimizasyon çalışması için dalgacık uyumu yöntemine başvurulmuştur. Dalgacık uyumunu kısaca, sinyaller arasındaki korelasyon ölçütü olarak tanımlayabilmekteyiz. Uyumun 1 olması demek sinyallerin birebir örtüştüğü anlamına gelmektedir. Çalışmada, ele alınan her bir durum için (farklı açıklık miktarları; 1, 5, 10, 15 cm) elde edilen yer değiştirme

tepkileri ile çarpışmanın olmadığı andaki yer değiştirme tepkilerinin dalgacık uyumu analizleri yapılmıştır.



Şekil 5. Dalgacık Uyumu Analizi: TSD sistem yer değiştirme tepkileri ile (a) $d=15$ cm (b) $d=10$ cm (c) $d=5$ cm (d) $d=1$ cm iken yer değiştirme tepkileri

Şekil 5'te, dalgacık uyumu grafikleri verilmiştir. Tekil sistem, rijit duvarın olmadığı sistem anlamına gelmektedir. Burada sarı renkli alanlar benzerliğin yüksek olduğu anlamına gelirken (uyum 1'e eşit veya yakın), mavi alanlar uyumun az olduğu bölgeleri göstermektedir. Açıklık miktarı azaldıkça veriler arası uyumun da azalarak çarpışma sayısının arttığı sonucuna

varılmaktadır.

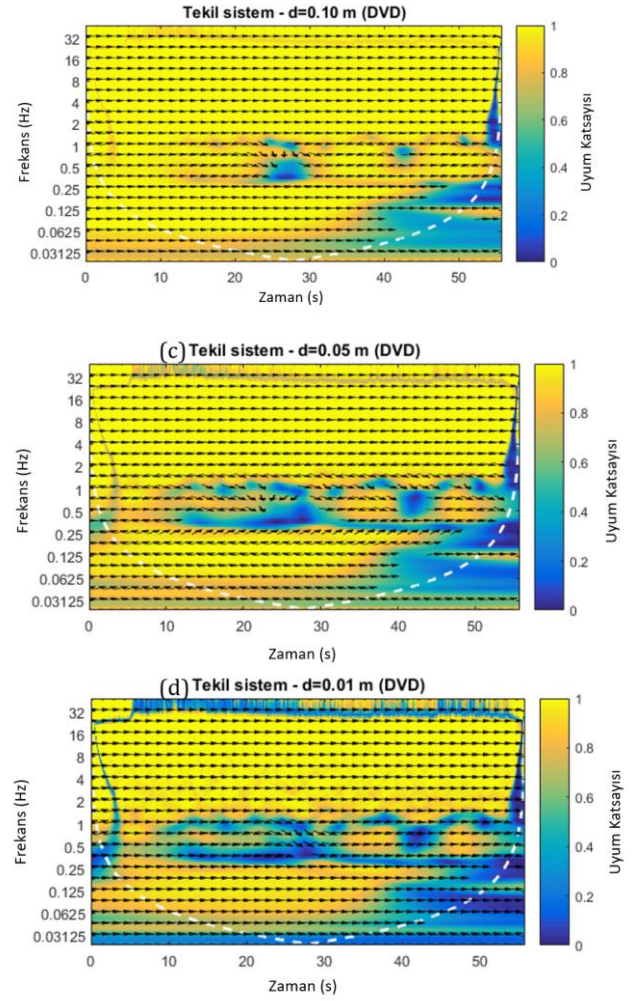
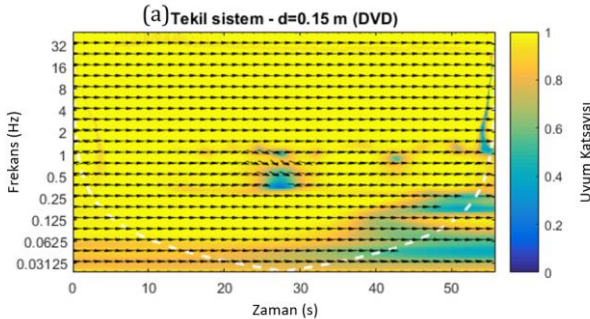
DVD eklenmiş sistemlerin dalgacık uyumu Şekil 6'da görülmektedir. Dalgacık uyumu grafiklerinde oklar çeşitli anlamlar içermektedir. Sağa doğru yönelmiş oklar, iki sinyalin aynı fazda olduğunu, sola doğru oklar iki sinyal arasında 180°lik faz farkı olduğunu, yukarı ve aşağı doğru oklar aralarında 90°lik faz farkı olduğunu belirtir. Tüm durumlar için uyum katsayıları 0.5 Hz frekans bileşeni hariç yüksektir. Dolayısıyla, damper yüklendikten sonraki bu davranışın, faz farklılığından ileri geldiği ifade edilebilir. Çekiçleme kuvveti oluşmaması için gerekli olan ek sönüm oranı, dalgacık uyum katsayılarının çoğunlukla 1 olduğunu gösteren sarı rengin yoğun olduğu grafik olduğu andaki değer kabul edilir. Minimum damper kapasitesinin belirlenmesi aşamasında, ek sönüm oranları kademeli bir şekilde arttırılarak maksimum uyumu meydana getirecek sönüm oranı belirlenmiştir.

Dalgacık uyumunu 1'e yakınsayan en küçük lineer viskoz damper kapasiteleri farklı açıklık miktarları için Tablo 1'de verilmiştir. Görüldüğü üzere açıklık miktarı ile damper sönüm oranı (ek sönüm oranı) ve kapasiteleri (sönüm katsayıları) arasında ters orantı bulunmaktadır. Azalan açıklık miktarları için, yer değiştirme tepkileri daha çok kontrol altına alınması gerektiğinden büyük damper kapasitelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Tablo 1

DVD Sönüm Oranı ve Kapasiteleri

Açıklık miktarı (d) (m)	Damper sönüm oranı (%)	Damper kapasitesi (Ns/m)
0.15	5	3.13×10^4
0.10	10	6.26×10^4
0.05	25	3.70×10^5
0.01	75	2.30×10^6



Şekil 6. DVD Eklenmiş Sistemlerin Yer Değiştirme Tepkilerinin Dalgacık Uyumu Analizi: TSD sistem ile (a) $d=15$ cm (b) $d=10$ cm (c) $d=5$ cm (d) $d=1$ cm iken

Çalışmalara ek olarak, farklı periyottaki sistemler için de analizler yapılmıştır. Tablo 2'de, çeşitli periyotlara sahip ve açıklık miktarı 0.10 m olan TSD sistemler için çekiçleme kuvvetini sıfır yapan viskoz damper sönüm oranları ve kapasiteleri verilmiştir. Sistem periyodu azaldıkça DVD sönüm oranı ve kapasite artmaktadır. Bunun sebebi, aynı açıklığa sahip sistemlerde düşük periyotlu yapının daha sık çarpışma olayına maruz kalmasıdır.

Tablo 2

Farklı Periyotlara Sahip TSD Sistemler için DVD Sönüm Oranı ve Kapasiteleri ($d = 0.10$ m)

Periyot (s)	Damper sönüm oranı (%)	Damper kapasitesi (Ns/m)
2.0	10	6.26×10^4
1.5	15	8.37×10^4
1.0	20	24.9×10^4
0.5	30	57.1×10^4

5. Tartışma

Literatürde dalgacık dönüşümleri çoğunlukla yapı sağlığı, deprem sinyalinin ayrıştırılması gibi çalışmalarda kullanılan bir yöntem olup, bu çalışmalarda genellikle veriyi ayrıştırarak indirgeyen ayrık dalgacık dönüşümü kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise, sürekli dalgacık dönüşümleri ile yer değiştirme tepkilerinin analizi yapılarak çarpışma durumu incelenmiştir. Bu analizler sonucunda, TSD sistemin rijit duvara çarptığı durumlar farklı açıklık miktarları altında analiz edilmiş ve çarpışmanın olmadığı durum ile kıyaslamalar yapılmıştır. Sürekli dalgacık dönüşümü grafiklerinde, boşluk miktarının azalması ile çarpışma sıklığının arttığı gözlenmiştir. Viskoz damper kapasitesinin hesabında, yer değiştirmenin en küçüklenmesi, standartlarca verilmiş ya da yapısal sistemlerin gerektirdiği ölçüde yer değiştirme değerini belirleyip, bu değere yakınsatmak ile ilgili olup, literatürde oldukça sıklıkla karşılaşılan bir yöntemdir. Dalgacık uyumu yöntemiyle ise, çeşitli değişkenlerden etkilenmiş iki sinyal arasındaki uyumu ya da uyumsuzluğu tespit etmek mümkün olabilmektedir. Böylece bu çalışmada, iki yer değiştirme sinyalinden, çarpışmanın olduğu sinyali çarpışmanın oluşmadığı sinyale benzetmeye çalışarak, yapıya eklenecek olan viskoz damper kapasitesi elde edildi. Dolayısıyla dalgacık uyumu yöntemi, bu çalışmada kullanıldığı gibi, optimizasyon çalışmasına dahil edildiğinde, bir sinyali istediğimiz bir sinyale benzetebilme esnekliğini sağlamaktadır. Bu çalışma ile ilk kez dalgacık uyumu yöntemi ile yer değiştirme verileri arasındaki benzerlik incelenmiştir. Buradan edinilen bilgiler ışığında, optimizasyon çalışmasında ek sönüm oranı, uyum katsayılarını 1'e yakınsayacak şekilde kademeli olarak arttırılmıştır. Elde edilen sönüm oranlarından da kapasiteler hesaplanmış ve damperler sisteme eklenerek sismik analiz tekrarlanmış ve çekiçleme kuvvetlerinin sıfır olduğu tespit edilmiştir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, deprem etkisi altındaki TSD bir sistemin, rijit duvara çarpmasıyla oluşan sismik davranış sürekli dalgacık yöntemi ile incelenmiştir. Çeşitli açıklık değerlerine sahip sistemlerin yer değiştirme zaman diyagramları kullanılarak elde edilen ölçek-zaman ve frekans-zaman grafiklerinden çekiçleme kuvvetlerinin sıklığı belirlenebilmiştir. Açıklık miktarı azaldıkça çarpışma olayının sayısının arttığı gözlenmiştir. Çarpışmayı engellemek için sisteme eklenmesi gereken minimum doğrusal viskoz damper kapasitesi dalgacık uyumu analizini temel alan optimizasyon çalışması yürütülerek belirlenmiştir. Yapılan parametrik analizler sonucunda açıklık miktarı azaldıkça ve aynı şekilde yapı periyodu küçüldükçe, sistemde çarpışma olmaması için eklenmesi gereken damper kapasitesinin arttığı

gözlemlenmiştir. Son olarak da elde edilen kapasiteler ile dinamik analizler yapılmış ve çekiçleme kuvvetlerinin sıfır olduğu tespit edilmiştir.

Dalgacık dönüşümü yöntemi ile zaman serilerinden elde edilemeyen frekans bilgileri elde edilmekte ve Fourier dönüşümünden üstün olarak da sinyaldeki frekans içeriklerinin zaman bilgileri elde edilebilmektedir. Dalgacık uyumu analizine dayanan optimizasyon yöntemi ile görülmüştür ki, sismik tepkilerin frekans içeriklerini birbirine benzetmek ve bunun sonucunda sismik tepkileri kontrol altında tutmak gerekli viskoz damper kapasitesini bulma bakımında olumlu sonuçlar vermektedir.

Bu çalışmada kullanılan yöntemler, çok katlı yapılar ile sismik izolatör ve diğer enerji sönümleyiciler için de uygulanabilir olduğundan, gelecek çalışmalarda bu konular üzerinde durulması düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Akehashi, H., ve Takewaki, I. (2020). Comparative investigation on optimal viscous damper placement for elastic-plastic MDOF structures: transfer function amplitude or double impulse. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 130, 105987. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105987>
- Cui, X., Bryant, D.M. ve Reiss, A.L. (2012). NIRS-based hyperscanning reveals increased interpersonal coherence in superior frontal cortex during cooperation. *NeuroImage*, 59(3), 2430-2437. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.09.003>
- Del Gobbo, G. M., Williams, M. S. ve Blakeborough, A. (2018). Comparing fluid viscous damper placement methods considering total-building seismic performance. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 47(14): 2864-2886. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105987>
- Folhento, P., Barros, R. ve Braz-César, M. (2021). *Mitigation of Earthquake-Induced Structural Pounding Between Adjoining Buildings – State-of-the-Art. CONTROLO 2020*, Proceedings of the 14th APCA International Conference on Automatic Control and Soft Computing, 752-761. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58653-9_72.

- Jankowski, R. (2005). Non-linear viscoelastic modelling of earthquake-induced structural pounding. *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, 34: 595-611. <https://doi.org/10.1002/eqe.434>
- Kazemi, F., Miari, M. ve Jankowski, R. (2021). Investigating the effects of structural pounding on the seismic performance of adjacent RC and steel MRFs. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, 317-343. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00985-y>.
- Miari, M., Choong, K.K. ve Jankowski, R. (2019). Seismic pounding between adjacent buildings: Identification of parameters, soil interaction issues and mitigation measures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 121, 135-150, ISSN 0267-7261, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.02.024>.
- Misiti M., Misiti Y., Oppenheim G. Ve Poggi J.-M. 2014. Wavelet Toolbox: The MathWorks. Erişim adresi: http://cda.psych.uiuc.edu/matlab_pdf/wavelet_ug.pdf
- Noruzvand, M., Mohebbi, M., ve Shakeri, K. (2020). Modified direct displacement-based design approach for structures equipped with fluid viscous damper. *Structural Control and Health Monitoring*, 27(1), e2465. <https://doi.org/10.1002/stc.2465>
- Pekcan, G., Mander, J.B. ve Chen, S.S. (1999). Fundamental considerations for the design of non-linear viscous dampers. *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, 28: 1405-1425. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199911\)28:11<1405::AID-EQE875>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199911)28:11<1405::AID-EQE875>3.0.CO;2-A)
- Shama, A. (2012). *Spectrum Compatible Earthquake Ground Motions by Morlet Wavelet*, 20th Analysis and Computation Specialty Conference. <https://doi.org/10.1061/9780784412374.015>
- Singh, R.S., Saini, B.S. ve Sunkaria R.K. (2018). Times Varying Spectral Coherence Investigation of Cardiovascular Signals Based on Energy Concentration in Healthy Young and Elderly Subjects by the Adaptive Continuous Morlet Wavelet Transform. *IRBM*, 39, Issue 1, 54-68. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2017.12.004>.
- Van Mier, J.G.M., Pruijssers, A.F., Reinhardt, H.W. ve Monnier, T. (1991). Load-time response of colliding concrete bodies. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 117, 354-374. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1991\)117:2\(354\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1991)117:2(354))
- Zhang, X., Noah, J.A., Dravida, S. ve Hirsch, J. (2020). Optimization of wavelet coherence analysis as a measure of neural synchrony during hyperscanning using functional near-infrared spectroscopy. *Neurophoton*, 7(1) <https://doi.org/10.1117/1.NPh.7.1.015010>.
- Zhao, Y., Laguna, R.C., Zhao, Y., Liu, J.J., He, X., Yianni, J. ve Sarrigiannis, P.G. (2018). A Wavelet-Based Correlation Analysis Framework to Study Cerebromuscular Activity in Essential Tremor. *Complexity*, 2018, Article ID 7269494. <https://doi.org/10.1155/2018/7269494>
- Zhao, H. ve Zhang, Y. (2021). CWT-Based Method for Extracting Seismic Velocity Dispersion. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. doi: [10.1109/LGRS.2021.3056610](https://doi.org/10.1109/LGRS.2021.3056610)

INVESTIGATION OF THE ENTRAINMENT OF FINE SIZED CALCITE AND CHROMITE PARTICLES BY A FLOTATION COLUMN WITH NEGATIVE BIAS REGIME

Kemal BİLİR^{1*}

¹ Eskisehir Osmangazi University, Mining Engineering Department, Eskisehir, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-6747-6666>

Keywords	Abstract
Flotation column Negative bias Entrainment Calcite Chromite	<i>Negatively Biased Flotation Column (NBFC) is a tool, which is developed for the flotation of coarse-sized ores. Unlike the conventional flotation column, in this column, there is no froth zone, and wash-water is usually not used. Therefore, hydrodynamically entrainment of fine-sized particles into the concentrate is possible, and this may result in a decrease in the grade or yield of the concentrate.</i> <i>In this study, operating parameters that can affect the entrainment of fine-sized particles were investigated. Calcite with a grade of 99.4% (CaCO₃) and chromite concentrates with a grade of 54.8% (Cr₂O₃) were used in the experiments. Parameters such as superficial water flowrate, particle size, air flow rate, frother dosage and particle density were used in the experiments. As a result of the experiments, it was determined that the amount of entrainment increased as the particle size and density decreased, and decreased with increasing superficial water flowrate, air flow rate and frother dosage.</i>

NEGATİF BİAS REJİMİNE SAHİP BİR FLOTASYON KOLONU İLE İNCE BOYUTLU KALSİT VE KROMİT TANELERİNİN SÜRÜKLENMESİNİN ARAŞTIRILMASI

Anahtar Kelimeler	Öz
Flotasyon kolonu Negatif bias Sürüklenme Kalsit Kromit	<i>Negatif Biaslı Flotasyon Kolonu (NBFK), iri boyutlu cevherlerin flotasyonu için geliştirilmiş bir araçtır. Klasik flotasyon kolonundan farklı olarak bu kolonda köpük bölgesi yoktur ve genellikle yıkama suyu kullanılmaz. Bu nedenle, ince boyutlu parçacıkların konsantreye hidrodinamik olarak sürüklenmesi mümkündür ve bu, konsantrenin tenöründe veya veriminde bir düşüşe neden olabilir.</i> <i>Bu çalışmada, ince boyutlu taneciklerin sürüklenmesini etkileyebilecek çalışma parametreleri araştırılmıştır. Deneylerde %99.4 (CaCO₃) tenörlü kalsit ve %54,8 (Cr₂O₃) tenörlü kromit konsantreleri kullanılmıştır. Deneylerde yüzeyel su akış hızı, tanecik boyutu, hava akış hızı, köpürtücü dozajı ve tanecik yoğunluğu gibi parametreler kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, tanecik boyutu ve yoğunluğu azaldıkça sürüklenme miktarının arttığı, artan yüzeyel su akış hızı, hava akış hızı ve köpürtücü dozajı ile azaldığı tespit edilmiştir.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 13.10.2021	Submission Date : 13.10.2021
Kabul Tarihi : 22.11.2021	Accepted Date : 22.11.2021

1. Introduction

There are many beneficiation methods for removing gangue minerals from valuable minerals. Froth flotation

is one of the methods used for mineral beneficiation. Flotation is a physicochemical mineral processing method based on differences in surface properties between valuable and gangue minerals (Schulze, 1984;

* Sorumlu yazar; e-posta: kbilir@ogu.edu.tr



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/>).

Wills and Finch, 2015). Flotation process can be performed in conventional flotation cells, flotation columns or Jameson cells.

Flotation cell is a flotation machine having mechanical and pneumatic properties. Turbulence in mechanical flotation cells is fairly high. It decreases the probability of collision between a coarse particle and air bubble and causes the detachment of coarse particles from the air bubbles. Therefore, flotation yield of minerals liberated in coarse sizes (>0.5 mm) is low in the flotation cells (Attia and Shaning, 1988; Finch and Dobby, 1990; Patil, Parekh, and Klunder, 2010; Schulze, 1977, 1984).

Flotation columns are pneumatic equipment with no mechanical agitation system, where turbulence is fairly low. They are divided into two subgroups as positive and negative bias. Flotation column with positive bias is preferred for the flotation of the fine-sized particles, and is used as an alternative to the flotation cell. Due to the positive bias, there is a downward liquid flow. Therefore, in these columns, the wash water must be used to ensure the stability of the system. Flotation of coarse-sized ores in the columns having a positive bias is also quite difficult. The latter, flotation column with negative bias, has almost the same operating principles with the former one, and can be used to improve the flotation performance of coarse particles. The direction of liquid flow in the flotation column having a negative bias is upward. The upward flow facilitates flotation of coarse-sized particles (Aliaga and Soto, 1993; Barbery, Bouajila and Soto, 1989; Bilir, 1997; Jameson, Cooper, Tang and Emer, 2020; Oteyaka and Soto, 1995; Soto, 1989; H. Soto and Barbery, 1991; Wills and Finch, 2015).

Bias is an expression defined as the difference between the feed and tailings flows. It plays an important role in the efficiency of column flotation (Azhin, Popli and Prasad, 2021). In the flotation column with a negative bias, feed flow is higher than tailings flow, and consequently, there is an upward liquid flow. Therefore, negative bias causes a reduction in the zone of froth or complete elimination of this zone (Oteyaka and Soto, 1995; Soto, 1989).

On account of the reduction of froth height and low turbulence, columns having a negative bias provide favorable conditions for the fast flotation of coarse particles (Bilir, 1997; Soto, 1989; Soto and Barbery, 1991; Aliaga and Soto, 1993; Oteyaka and Soto, 1995; Barbery, et al., 1989; Safari, Hoseinian, Deglon, Leal and Pinto, 2020). So, the column with negative bias was used by many researchers for the flotation of ores liberated in coarse sizes such as coal, potash and quartz (Bilir, 1997; Soto, 1989; Soto and Barbery, 1991; Aliaga and Soto, 1993; Oteyaka and Soto, 1995).

Column with negative bias is a device placed between the mill and the classifier to float the ores liberalized in coarse sizes or to prevent unnecessary fine grinding. This column is similar to the one with positive bias in

terms of operating principles (Bilir, 1997; Soto, 1989; Soto and Barbery, 1991; Aliaga and Soto, 1993; Oteyaka and Soto, 1995; Barbery, et al., 1989;). Flotation column with negative bias has advantages, such as beneficiation of coarse-particle ores between 2 mm and 0.1 mm, lower column height, and lower operating cost. However, when coarse-sized particles are concentrated by flotation column with negative bias, some undesirable results like the entrainment of fine-sized particles into the concentrate, resulted in the changes of the grade of the concentrate can occur.

The aim of this study is to investigate the effects of the superficial water flowrate, particle size, air flowrate, frother dosage, and particle density on the entrainment of fine-sized particles, and to determine the relationship between entrainment of fine-sized particles and test parameters.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

Calcite sample, supplied by Sahin Mineral Ltd., was crushed by jaw and roll crusher before being ground using the ceramic mill. Following comminution, the whole sample was sieved to obtain the size fractions needed for the experiments. Chromite was provided from the concentration plant of the Kavak Krom Inc., Eskisehir. Because the chromite sample had the required size properties for the experiments was sieved into desired size fractions without a comminution process. Calcite with a grade of 99.4% (CaCO₃) and chromite with a grade of 54.8% (Cr₂O₃) was used in the experiments. Table 1 displays the density values of the samples used in the entrainment experiments.

Table 1

Calcite and Chromite Densities According to Size Ranges

Sample size ranges (micron)	Density (g/cm ³)	
	Calcite	Chromite
-106 +75	2.69	4.00
-75 +53	2.70	3.95
-53 +38	2.69	3.67
-38	2.70	3.50

2.2. Flotation Column with Negative Bias Regime

The experiments were performed in a custom-designed column made of polyester, having a height of 205 cm and an internal diameter of 6 cm. Figure 1 shows the experimental setup, which includes the following pieces of equipment: Feed pump (1), sparger (2), tailing pump (3), solenoid valve (4), solenoid valve controller (5), flowmeter (6), air valve & Low-rpm motor (7), motor

control unit (8), pressure regulator (9), air compressor (10), personal computer (11), capacitance-voltage transducer (12), capacitor (13), liquid level monitoring hose (14), and mixing tank (15).

In order to evaluate the effects of the tested parameters on the entrainment of fine-sized particles into concentrate, a series of experiments were carried out at varying superficial water flowrate, particle size, air flowrate, frother dosage, and particle density.

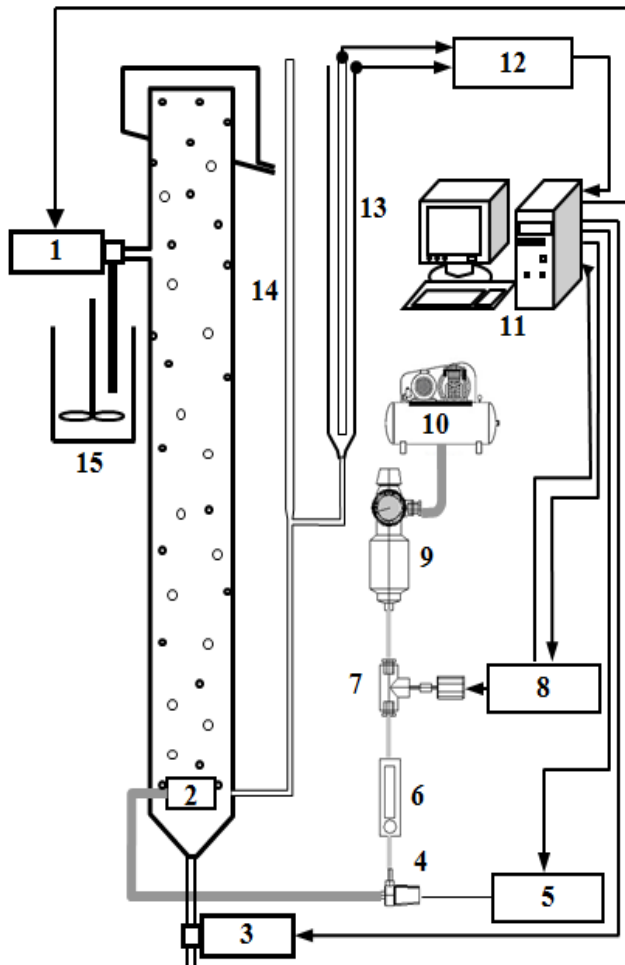


Figure 1 Schematic representation and experimental setup of the flotation column (Bilir, 1997)

The tested parameters and values used in the experiments are given in Table 2.

Table 2.

Experimental Conditions	
Feed flowrate	: 1282,1447, 1575 ml/min
Tailing flowrate	: 1020 ml/min
Superficial water flowrate	: 0.15, 0.25, 0.33 cm/s
Air flowrate	: 1000, 2000, 3000 ml/min
Mean bubble diameter	: 1-2 mm
Gas hold-up	: 8-20 %
Frother dosage	: 5, 10, 15 ppm
Frother type	: Aerofroth-88 (Cytec)
Solid ratio by weight	: 20 %
Sample densities, g/cm ³	: 2.69, 2.7, 3.5, 3.67, 3.95, 4.0
Sample quantity	: 500 g
Sample size ranges	: -0.106+0.075 mm -0.075+0.053 mm -0.053+0.038 mm -0.038 mm
Mean particle size	: 0.0905 mm 0.064 mm 0.0455 mm 0.019 mm

3. Results and Discussion

3.1. The Effect of Superficial Water Flowrate (J_w)

Superficial water flowrate is obtained by dividing the difference between the feed flowrate and tailings flowrate by the column cross-sectional area. In flotation column with the negative bias, superficial water rate facilitates the upward movement of the bubble-hydrophobic particle aggregate. Despite that positive effect, superficial water flowrate can cause entrainment of fine-sized particles to concentrate. In terms of physical events, if superficial water flowrate is greater than the settling velocity of a particle, that particle drifts in the direction of the water flow. This variable is adjusted by changing the feed flowrate. A series of experiments were carried out to evaluate the effects of the changes at superficial water flowrate, and the test results obtained are shown in Figures 2 and 3 for calcite and chromite respectively.

According to the results given in Figures 2 and 3 show that the entrainment increases with an increasing superficial water flowrates, it is being more pronounced for calcite. This could be attributed to the fact that the density of calcite is lower than the density of chromite. At the same superficial water flowrate values, as the particle size decreases, the entrainment increases. There is a non-linear relationship between superficial water rate and entrainment.

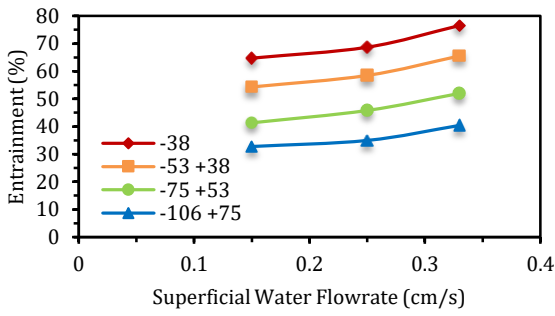


Figure 2. Relationship Between Superficial Water Flowrate and Entrainment at Different Particle Sizes for Calcite (Q_A : 2000 ml/min, Q_{fr} : 10 ppm)

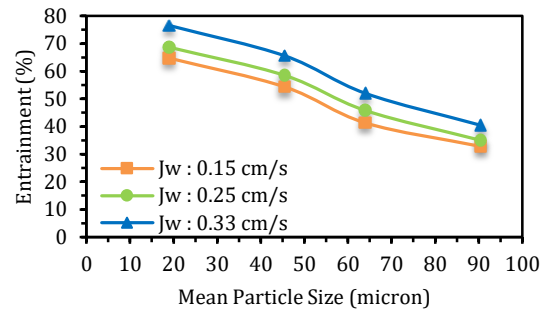


Figure 4. Relationship Between Particle Size and Entrainment at Different Superficial Water Flowrates for Calcite (Q_A : 2000 ml/min, Q_{fr} : 10 ppm)

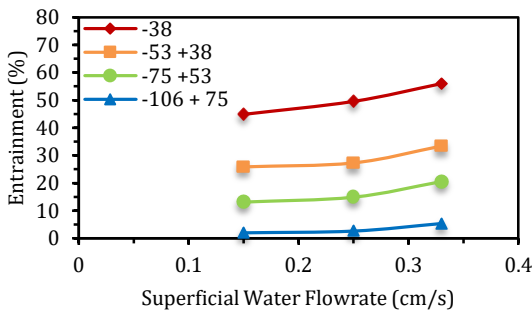


Figure 3. Relationship Between Superficial Water Flowrate and Entrainment at Different Particle Sizes for Chromite (Q_A : 2000 ml/min, Q_{fr} : 10 ppm)

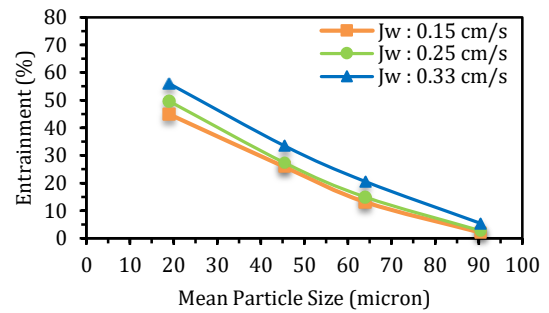


Figure 5. Relationship between mean particle size and entrainment at different superficial water flowrates for Chromite (Q_A : 2000 ml/min, Q_{fr} : 10 ppm)

3.2. The Effect of Particle Size (d_p)

In this part of the study, the effect of particle size on entrainment for calcite and chromite was investigated depending on different superficial water flowrates, air flowrates and frother dosages (Figure 4-9). As seen from the Figures 4-9, the entrainment increases with a decreasing particle size at all parameters tested. The results also show that the entrainment of calcite is higher than chromite at all parameters tested (Figure 4, Figure 6 and Figure 8). This could also be due to the density difference between calcite and chromite mineral samples. At the same mean particle sizes, as the particle size decreases, the entrainment increases resulting in a non-linear relationship between particle size and entrainment.

In Figure 4 and Figure 5, for the same mean particle sizes, it can be seen that there is a non-linear relationship between particle size and entrainment for both calcite and chromite mineral samples. As the superficial water flowrate increases, the entrainment increases for both mineral samples. However, as mentioned before the entrainment of calcite mineral samples is much more than those of chromite.

In the case of different flowrates, the results given in Figure 6 and Figure 7 show similar trend with the different superficial water flowrates for both mineral samples. At the same mean particle sizes, as the air flowrate increases, the entrainment increases, resulting in a non-linear relationship between particle size and entrainment.

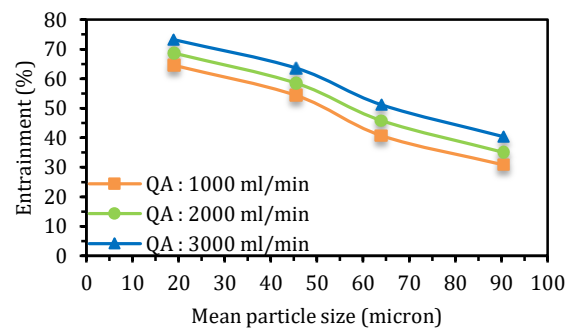


Figure 6. Relationship Between Particle Size and Entrainment at Different Air Flowrates for Calcite (J_w : 0.25 cm/s, Q_{fr} : 10 ppm)

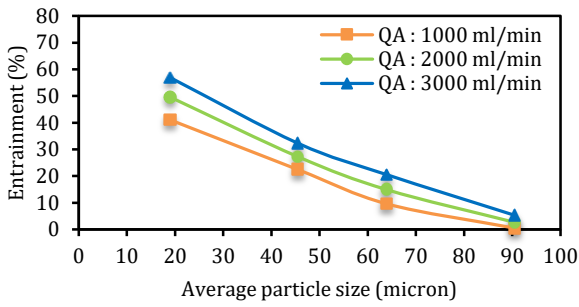


Figure 7. Relationship Between Particle Size and Entrainment at Different Air Flowrates for Chromite (J_w : 0.25 cm/s, Q_{fr} : 10 ppm)

As the frother dosage increases, the total surface area of air bubbles increases due to the decreasing the air bubble size for the same flowrate. Therefore, the results obtained with the both mineral samples given in Figure 8 and Figure 9 show that as the frother dosage increases, the entrainment increases for the same mean particles sizes, resulting in a non-linear relationship between particle size and entrainment.

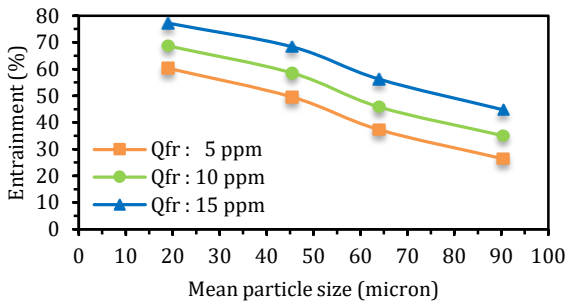


Figure 8. Relationship Between Particle Size and Entrainment at Different Frother Dosages for Calcite (Q_A : 2000 ml/min, J_w : 0.25 cm/s)

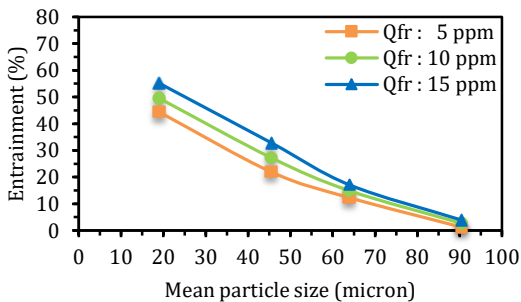


Figure 9. Relationship Between Particle Size and Entrainment at Different Frother Dosages for Chromite (Q_A : 2000 ml/min, J_w : 0.25 cm/s)

3.3. The Effect of Air Flowrate (Q_A)

The air flowrate is an important factor in the flotation column with the negative bias. It controls hold-up and air bubble diameter. Besides, it controls the turbulence created by air bubbles. Therefore, an increase in air flowrate may cause an increase in the entrainment of the fine-sized particles. Experiments were carried out at three different air flowrates, two different densities, and four different size ranges to determine the effect of air flowrate on the entrainment. The experimental results are shown in Figure 10 and 11.

According to the results obtained, as the air flowrate increases, the entrainment also increases. At the same air flowrate, as particle size decreases, the entrainment increases. There is a linear relationship between the air flowrate and the entrainment (Figure 10-11).

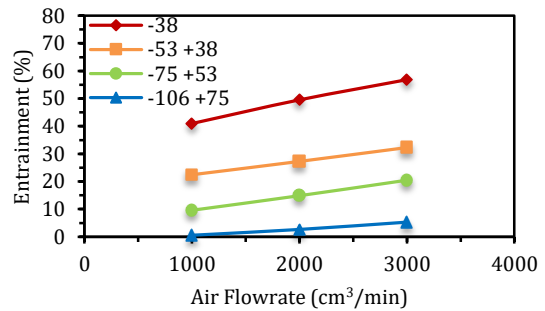


Figure 10. The Air Flowrate vs Entrainment Relationship for Chromite (Q_{fr} : 10 ppm, J_w : 0.25 cm/s)

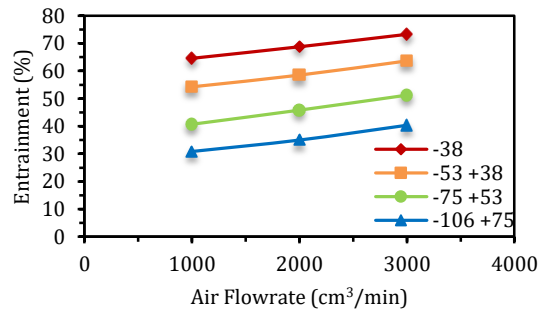


Figure 11. The Air Flowrate vs Entrainment Relationship for Calcite (Q_{fr} : 10 ppm, J_w : 0.25 cm/s)

3.4. The Effect of the Frother Dosage (Q_{fr})

The dosage of frother determines the diameter and number of bubbles. As the frother dosage increases, while the bubbles diameter decreases, the number of bubbles increases. As a result, hold-up, turbulence, and superficial water flowrate increase partially. Therefore, an increase in the frother dosage may cause an increase

in the fine particle entrainment. Experiments were carried out at three different frother dosages, two different densities, and four different size ranges to determine the effect of frother dosage on the entrainment of fine-sized particles. The experimental results are given in Figure 12 and 13. As the frother dosage increases, the entrainment also increases. At the same frother dosage, as the particle size and density decreases, the entrainment increases. There is a linear relationship between the frother dosage and the entrainment.

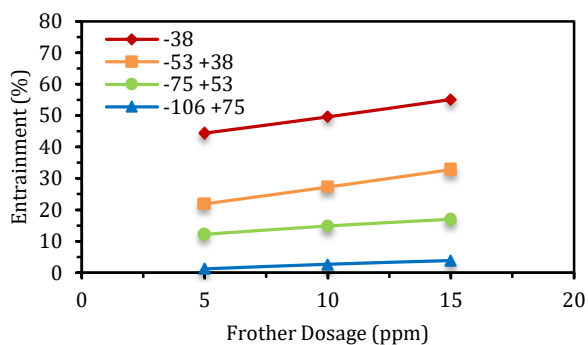


Figure 12. The Frother Dosage vs Entrainment Relationship for Chromite (Q_A : 2000 ml/min, J_w : 0.25 cm/s)

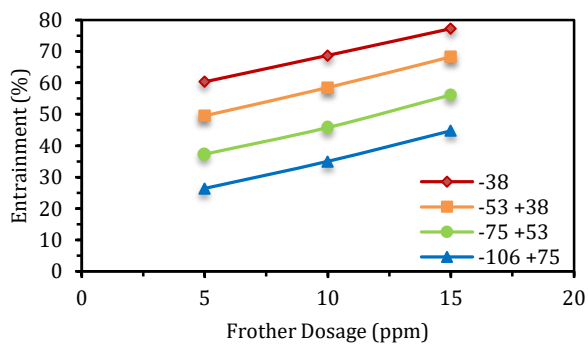


Figure 13. The Frother Dosages vs Entrainment Relationship for Calcite (Q_A : 2000 ml/min, J_w : 0.25 cm/s)

3.5. The Effect of Particle Density

Entrainment of the particles having a low density will be more easily than the particles having a high density. Therefore, the entrainment will vary depending on the change of the density. Experiments were carried out at two different densities. The experimental results are shown in Figure 14.

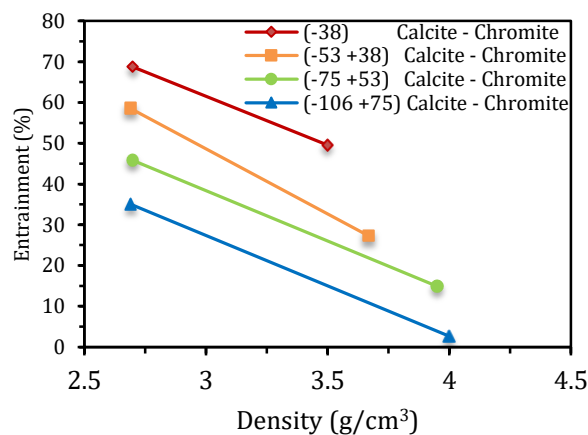


Figure 14. The Effect of the Density on The Entrainment (Q_A : 2000 ml/min, J_w : 0.25 cm/s, Q_{fr} : 10 ppm)

It is observed that as the particle density increases, the entrainment decreases as seen in Figure 14.

4. Conclusion

In this study, the parameters that can affect the fine particle entrainment in the flotation column with negative bias were investigated. The results of experimental studies showed that the entrainment is strongly dependent on the operating parameters including particle size, particle density, superficial water flowrate and air flowrate. Entrainment of fine-sized particles was observed which increased with an increasing superficial water flowrate, a decreasing particle size, an increasing air flow rate, an increasing frother dosage, and a decreasing particle density.

Contribution of Researchers

Kemal BİLİR contributed to the development of the article, preparing the samples, conducting the experiments, writing the article and evaluating the results.

The author declared that research and publication ethics were followed in this study.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

Aliaga, W., & Soto, H. (1993). Application of Column Cells to Potash Flotation in Brines. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy Section C-*

Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 102, C70-C73.

and Metallurgical Processing, 16-21. doi: <https://doi.org/10.1007/BF03402925>

Attia, Y. A., & Shaning, Y. (1988). Feasibility of separation of coal flocs by column flotation. *Column Flotation*, 88, 249-253.

Wills, B. A. & Finch, J. 2015. *Wills' mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery*: Butterworth-Heinemann.

Azhin, M., Popli, K. & Prasad, V. 2021. Modelling and boundary optimal control design of hybrid column flotation. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. doi: <https://doi.org/10.1002/cjce.24010>

Barbery, G., Bouajila, A., & Soto, H. (1989). A method for separation of coarse particles: Google Patents.

Bilir, K. (1997). *Entrainment of fine particles and enrichment of coarse particles in modified flotation column*. (Ph.D. Thesis), Eskisehir Osmangazi University. (100)

Finch, J. A., & Dobby, G. S. (1990). *Column flotation*: Pergamon Press.

Jameson, G. J., Cooper, L., Tang, K. K. & Emer, C. 2020. Flotation of coarse coal particles in a fluidized bed: The effect of clusters. *Minerals Engineering*, 146, 106099. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106099>

Oteyaka, B., & Soto, H. (1995). Modeling of Negative Bias Column for Coarse Particles Flotation. *Minerals Engineering*, 8(1-2), 91-100. doi: [https://doi.org/10.1016/0892-6875\(94\)00105-L](https://doi.org/10.1016/0892-6875(94)00105-L)

Patil, D. P., Parekh, B. K., & Klunder, E. B. (2010). A Novel Approach for Improving Column Flotation of Fine and Coarse Coal. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 30(2-5), 173-188. doi: <https://doi.org/10.1080/19392699.2010.497106>

Safari, M., Hoseinian, F. S., Deglon, D., Leal, L. S. & Pinto, T. C. S. 2020. Investigation of the reverse flotation of iron ore in three different flotation cells: Mechanical, oscillating grid and pneumatic. *Minerals Engineering*, 150, 106283. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106283>

Schulze, H. J. (1977). New theoretical and experimental investigation on stability of bubble/particle aggregates in flotation: a theory on the upper particle size of floatability. *Int. J. Min. Proc.*, 241-259. doi: [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(77\)90005-9](https://doi.org/10.1016/0301-7516(77)90005-9)

Schulze, H. J. (1984). *Physico-chemical elementary processes in flotation*: Elsevier.

Soto, H. (1989). *Column flotation with negative bias*. Paper presented at the Processing of Complex Ores: Proceedings of the International Symposium on Processing of Complex Ores, Halifax, August 20-24.

Soto, H., & Barbery, G. (1991). Flotation of coarse particles in a counter-current column cell. *Minerals*

INFLUENCE OF INPUT MOTION SCALING METHODS ON THE DRIFT RESPONSE OF DECOUPLED SSI DYNAMIC ANALYSIS

Yusuf GÜZEL^{1*}, Fidan GÜZEL²

¹ Faculty of Engineering, Necmettin Erbakan University, No:42/A, KONYA,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-2957-8060>

² Faculty of Engineering, Iğdır University, Iğdır,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-3204-5305>

Keywords	Abstract
<p>Soil classes Design response spectrum Outcrop/surface motion Nonlinear site response analysis Seismic performance of structures.</p>	<p>Propagation of seismic waves through soil deposits may considerably alter their characteristics at surface. This ultimately influences the seismic performance of structures. The influences of soil deposits are included in seismic codes (e.g. Eurocode 8, EC8) by means of proposed design response spectra for different soil classes used in design or retrofitting of structures. Nevertheless, a smooth design response spectrum cannot always represent spectral response of an actual input motion over an engineering period of interest due to its irregular spectral shape. Subsequently, the seismic performance of a structure may be insufficient when a design response spectrum is used. The interaction between soil and structure may also affect the structural behaviour. This study aims to demonstrate the impact of adoption of input motions and soil deposits with soil classes B, C and D on the seismic behaviour of one-bay, 1-storey structure modelled in OpenSEES For this purpose, two different approaches are chosen; (i) seven input motions recorded on ground surface are modified and applied to the model, (ii) seven outcrop motions are scaled according to EC8 and processed through the ideal soil deposits by conducting nonlinear site response analysis, then applied to the model. The results indicate that the model is exposed to more drift responses when it is on softer soil deposit. In addition, imposing input motions obtained at surface from nonlinear site response analysis cause higher drift responses than directly applying input motions.</p>

DEPREM İVME HAREKETİ ÖLÇEKLENDİRME YÖNTEMLERİNİN SSI DİNAMİK ANALİZİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Anahtar Kelimeler	Öz
<p>Zemin sınıfları Tasarım davranış spectrumu Yüzeysel kaya ivme hareketi Doğrusal olmayan zemin analizi Yapıların sismik davranışı</p>	<p>Zemin tabakaları boyunca hareket eden sismik dalgaların özellikleri yüzeye ulaştıklarında önemli ölçüde değişime uğramış olabilir. Bu zemin tabakaları ile sismik dalga arasındaki etkileşim yapıların sismik performansını etkiler. Bu etki, yapıların tasarımında veya güçlendirilmesinde kullanılan farklı zemin sınıfları için önerilen tasarım spektrumları aracılığıyla sismik kodlara (örneğin Eurocode 8, EC8) dahil edilmiştir. Bununla birlikte, standart tasarım davranış spectrumu, gerçek bir deprem ivme hareketinin spektral davranışı düzensiz olduğundan, gerçek bir deprem hareketini tam olarak temsil edemez. Bu nedenle, standart tasarım spectrumu kullanıldığında bir yapının sismik performansı yetersiz olabilir. Ayrıca, zemin-yapı arasındaki etkileşim nedeni ile de yapısal davranış etkilenebilir. Bu çalışma, deprem ivme hareketlerinin, B, C ve D zemin sınıfları dikkate alınarak, OpenSEES'te modellenen tek açıklıklı ve 1 katlı yapının sismik davranışı üzerindeki etkisini göstermeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla iki farklı yaklaşım seçilmiştir; (i) zemin yüzeyinde kaydedilen yedi deprem ivme hareketi modifiye edilmesi ve modele uygulanması, (ii) yedi adet yüzeysel kaya deprem ivme hareketinin EC8'e göre</p>

* Sorumlu yazar; e-posta : yusufkurtdereli@hotmail.com



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/>).

ölçeklendirilmesi ve doğrusal olmayan zemin analizi sayesinde yüzeysel deprem ivme hareketleri elde edilerek modele uygulanmasıdır. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre, yapısal modelin daha yumuşak zemin üzerinde olduğunda daha fazla kat ötelenmesine maruz kaldığını göstermektedir. Ek olarak, doğrusal olmayan zemin analizinden yüzeysel elde edilen ivme hareketlerinin uygulanması, doğrudan ivme hareketlerini uygulamaktan daha büyük kat ötelenmelerine neden olmaktadır.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 17.10.2021	Submission Date	: 17.10.2021
Kabul Tarihi	: 24.01.2022	Accepted Date	: 24.01.2022

1. Introduction

Earthquakes are the inevitable consequence of the tectonic plates movements. These natural events are happening numerous times with different level of magnitudes and, more importantly, they have different impact on the urban environment. In order to minimize the impact of an earthquake on a specific structure, it is necessary to consider various input motions, representing the main characteristics of the seismic event expected at the site, in the design of new buildings or when retrofitting existing ones (CEN, 2005).

The design of a building in seismically active regions clearly requires nonlinear time domain analyses. Most commonly, the building models are modelled as fixed base with single or multi-degree of freedom system and modified input motions are directly applied at the base of the model (direct method). Alternatively, a full numerical model involving the soil deposit, the foundation and the building can be considered in order to take into account the soil-structure interaction (SSI) under dynamic conditions. Instead, in a decoupled approach the bedrock motions are firstly propagated at ground surface in free-field conditions and then used as input motions for a fixed-base structural model. Subsequently, the building model is assessed based on the engineering demand parameters (e.g. inter-storey drift response, roof drift response, etc.) (CEN, 2005; Galasso & Iervolino, 2011). Since, the nonlinear dynamic analysis of buildings are time and cost consuming, the determination of the adequate number of analyses or input motions is vital. The number of input motions to be considered as adequate depends on the efficiency of the scaling method adapted. The number of input motions should be such that the mean response of an EDP does not change significantly with the increase in the input motions and does not reduce the scatter anymore in the response. In this regard, Eurocode 8 (EC8) recommends considering seven input motions in order to account the mean response in the design of buildings.

From this perspective, the selection and modification of input motions are regarded as critical as the modelling of the buildings (Iervolino & Manfredi, 2008). While the selection of the input motions is usually based on the

magnitude and distance hazard distributions of the site under consideration, different scaling methods have been developed to modify them (Shome, Cornell, Bazzurro & Carballo, 1998; Hancock *et al.*, 2006; Ancheta *et al.*, 2013). Particularly, $0.2T_1-2T_1$ scaling, (i.e. EC8), mean squared error (MSE) method, $Sa(T_1)$ scaling and PGA scaling are amongst the most adopted scaling approaches in the engineering practice (CEN, 2005; Kottke and Rathje, 2008; Mazzoni, Hachem & Sinclair, 2012; Tönük, Ansal, Kurtuluş & Çetiner, 2014; Amirzehni, Taiebat, Fin & DeVall, 2015). General practise in the selection of input motions is firstly to determine a target response spectrum representing the seismic intensity level of the site under consideration. Second step is to select and modify suited input motions. The target spectrum will either be constructed in compliance with the seismic design codes (e.g. EC8) or will be obtained from the site response analysis. The later application is suggested when the safety of a structure is crucially important (e.g. nuclear power plant) or when the soil deposits consist of soft soil materials. In EC8, soil classes B and C are regarded as stiff soils and soil class D is regarded as soft soil. However, the suitability of design response spectra for not only soil class D but also for soil classes B and C are in question (Pitilakis, Riga & Anastasiadis, 2012; Pitilakis, Riga & Anastasiadis, 2013). This will favour the site response analysis in the nonlinear dynamic analysis of buildings.

The site response analyses can be performed through frequency-domain equivalent linear (EQL) or time-domain nonlinear (NL) methods considering total or effective stress approaches (Guzel, 2019). The EQL method is based on the exact continuum solution of wave propagation in horizontally layered visco-elastic materials subjected to vertically propagating transient motions (Roesset, 1977). It models the nonlinear variation of soil shear modulus (G) and damping (D) with shear strain through a sequence of linear analyses with iterative update of stiffness and damping parameters. For a given soil layer, G and D are assumed to be constant with time during the shaking. Therefore, an iterative procedure is needed to ensure that the properties used in the linear dynamic analyses are consistent with the level of strain induced in each layer by the input motion (Kramer, 1996). The analysis is

performed adopting a total stress approach. On the contrary, NL approach adopting a numerical time integration scheme and an effective stress approach are capable of fully capturing soil nonlinearity, pore water pressure build-up and consolidation settlements induced by the earthquake. Although the EQL approximation is simpler and time effective, the NL approach may yield more accurate results. In particular, the benefit of time domain NL schemes can be fully appreciated when the site is shaken by a strong seismic motion (e.g. Elia, 2014; Elia, Rouainia, Karofyllakis & Guzel, 2017).

This paper studies the influence of three different ideal soil deposits (with soil types B, C and D) on the response of the nonlinear one-bay 1-storey building via direct and decoupled SSI approaches. By complying with the EC8 prescription, seven outcrop input motions and surface input motions are scaled. Outcrop input motions are firstly processed through the soil deposits then applied to the fixed base structural model while the surface input motions are directly applied to the model. This paper proceeds by briefly describing the soil and building models. Subsequently, the scaled input motions are described. This is followed by the results and discussions. Finally, the summary of the study is presented with the outcomes.

2. FE soil models

An ideal soft clay soil deposit with 50 m depth and 5 m width is modelled in the fully-coupled finite element code SWANDYNE II (Chan, 1995). The soil column is discretised by 250, 1x1 m isoparametric quadrilateral finite elements with 8 solid nodes and 4 fluid nodes (Figure 1). This mesh generation ensures that the seismic wave transmission is represented accurately through the FE soil model (Bathe, 1982). During the dynamic analyses, the bottom of the mesh is assumed rigid at the bedrock, while the nodes along the vertical sides are characterized by the same displacements (i.e. tied-nodes lateral boundary conditions). The modified input motions are directly applied to the solid nodes at the base of the mesh as prescribed horizontal displacement time histories. The dynamic simulations are carried out with a time step corresponding to that of the earthquake input signals.

The advanced kinematic hardening soil model *RMW* (Rouainia & Wood, 2000) is used to simulate the dynamic soil behaviour during the nonlinear site response analyses. *RMW* has been successfully employed to predict the dynamic performance of different earth structures (Elia & Rouainia, 2013; Elia & Rouainia, 2014) as it can capture early irreversibility, accumulation of pore pressure, stiffness degradation and damping ratio curves and the destructure of soil under undrained conditions (Guzel, 2019). In this work, the soil material parameters are determined by conducting a series of undrained cyclic simple shear test

simulations (using a program called SM2D (Chan, 1995) under controlled strain levels in order to produce normalised shear modulus shown in Figure 1. The comparison with Vucetic and Dobry (1991) results indicates that the predicted response is within the range of the experimental data. The adopted *RMW* parameters are summarised in Table 1.

Table 1.

RMW model parameters calibrated against the nonlinear curves given by Vucetic and Dobry (1991)

λ^*	κ^*	M	ν	R	A*	B	k	ψ	r_o
0.2	0.02	1.	0.	0.	0.4	8.	0.	1.	1.
52	97	35	22	1	94	0	5	0	75

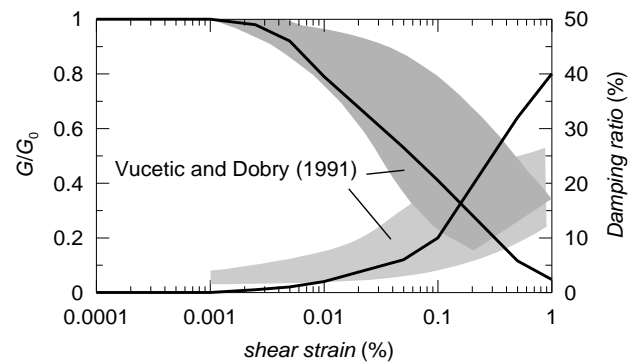


Figure 1. Shear stiffness degradation and corresponding damping ratio curves based on *RMW* model parameters.

The initial stiffness profiles of the soil deposit are attained using the equation (1) proposed by Viggiani and Atkinson (1995) for the dependency of the small-strain shear modulus, G_0 , on the mean effective stress and overconsolidation ratio (R_o):

$$\frac{G_0}{p_r} = A \left(\frac{p'}{p_r} \right)^n R_o^m \tag{1}$$

where p_r is a reference pressure equal to 1 kPa. In all cases, with respect to the plasticity index of 35, m and n in the equation are set equal to 0.27 and 0.84, respectively. With this set of m and n parameters, the dimensionless stiffness parameter A attained as 1050 so that the shear wave velocity at the top 30 m is consistent with the soil class of D (Guzel, Elia & Rouainia, 2017). In the same way, by keeping the m and n parameters constant, the values of A parameter are set to 1600 and 6500 for soil classes B and D, respectively. In the initialisation phases of the FE models, an overconsolidation ratio equals to, on average, the value of 1.5. The resulting shear wave velocity profiles (shown in Figure 2) have an average value at the top 30 m of the soil column equal to 540, 345 and 140 m/s, thus classifying the deposit as a soil class of B, C and D

according to EC8. Accordingly, the first natural periods (T_1) of the three soil deposits are equal to 0.3, 0.47 and 1.17 s, respectively.

small-strain range is compensated by the viscous damping.

3. Building model

An ideal one-bay, one-storey frame building model shown in Figure 3, with 11 m height and 12.8 m width, is simulated with OpenSees, following the example presented by Mazzoni, McKenna, Scott and Fenves (2006). Columns and beams have sections equal to 152.4 cm × 122 cm and 244 cm × 152.4 cm, respectively. The concrete and steel units of the reinforced concrete sections are defined as a single homogenised material. The model base nodes are fixed for the displacements and freed for the rotations. The frame noethides are free to displace and rotate. Beam and column elements are allowed to accommodate a nonlinear behaviour in accord with the defined moment-curvature relationship. In particular, flexural stiffness in elastic and inelastic regions are set to 894e4 (kNm²) and 574e4 (kNm²) while yield moment and yield curvature equal to 146.9e2 (kNm) and 0.256e-2 (1/m), respectively) with strain-hardening ratio of 0.01. Representative moment-curvature relationship is presented in Figure 4. Since the focus of this research is to study the influence of direct and decoupled approaches on the building responses, this given example is directly used. Although the physical dimensions of the model are not carefully considered, this will not change the overall conclusions of the work.

The fundamental period of the building model is equal to 1.17 s. Two additional frame models with fundamental periods of 0.9 s and 0.6 s are also considered by changing the mass of the building. This is to investigate the influence of the building fundamental period on the drift response of frame models with a similar shape. It is important to note here that the research and publishing ethics are adhered throughout the present paper.

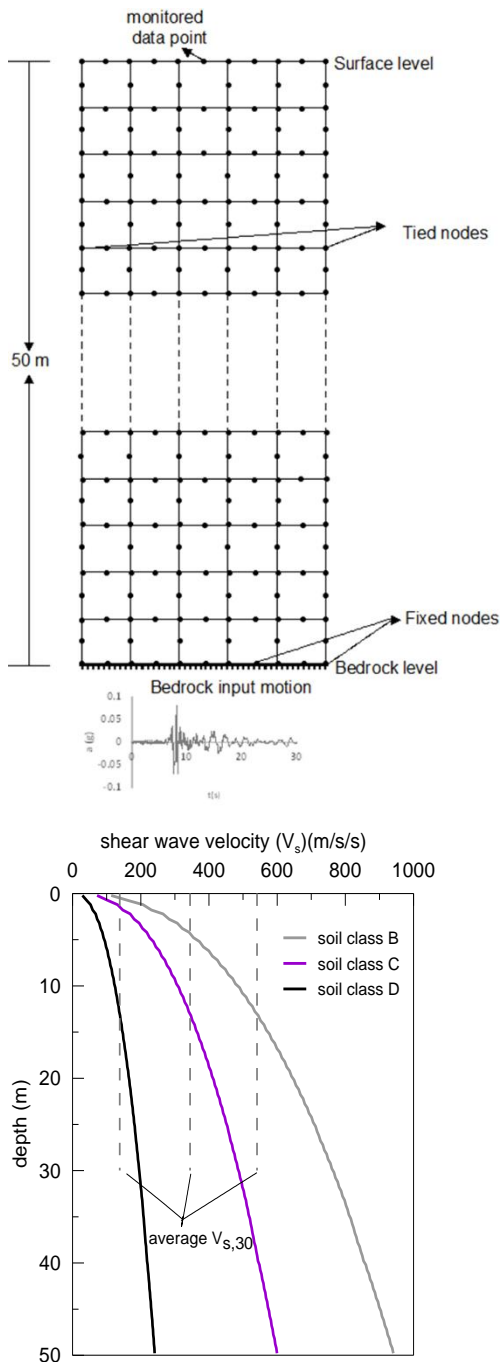


Figure 2. Model of the 50 m soil deposit and shear wave velocity profiles for soil classes B, C and D.

In the dynamic simulations conducted with SWANDYNE II, only 5%, 3% and 2% of Rayleigh damping for soil class B, C and D are introduced. This is to ensure that the propagation of spurious high frequencies are avoided and the RMW model underestimation of damping in the

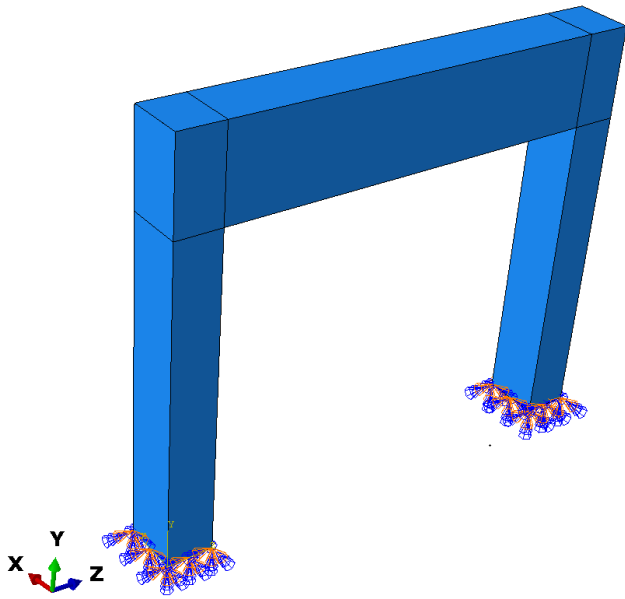


Figure 3. One-bay 1-storey frame building model modelled in OpenSees.

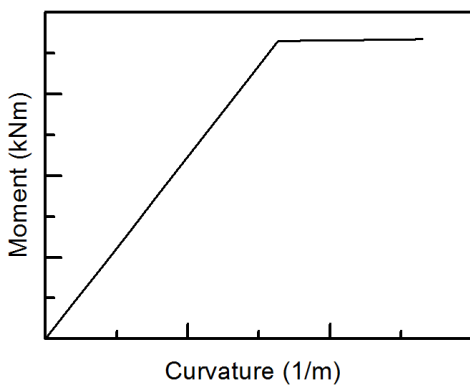


Figure 4. Representative moment-curvature relation adopted in this work.

4. Modification of Input Motions

Seven real surface input motions recorded on soil classes B, C and D and seven real input motions recorded at the outcropping rock (i.e. soil class A) are selected and modified to the associated EC8 design response spectra levels by using a computer program REXEL (Iervolino, Galasso & Cosenza, 2010), accounting for two seismic intensity levels (i.e. 0.15g and 0.35g). For the sake of brevity, general characteristics of earthquake events are presented in the Appendix 1. Since ideal soil sites are investigated in this study, magnitude and distance hazard contributions are selected to cover most of the earthquake recordings in the European Strong-motion Database (ESM). The input motions are scaled in such a way that the mean response spectrum of the seven earthquake records is within the 10% lower limits and 30% upper limits of the target response spectra (shown in Figure 5 and Figure 6).

The outcrop input motions can be vital in investigating the local site effects and in the nonlinear site response analysis. The outcrop input motions can be used as bedrock input motions in the site response analysis (Pinzón, Mánica, Pujades & Alva, 2019). In this study, the target response spectra is damped by 5% and have 2% of probability of exceedance in 50 years (i.e. 475 years of return period). It is important to note here that in order to account for the extraordinary earthquake scenarios, it is necessary to consider outcrop input motions with return periods of 2475 years (i.e. 50% of probability of exceedance in 50 years) (Tönük et.al., 2014).

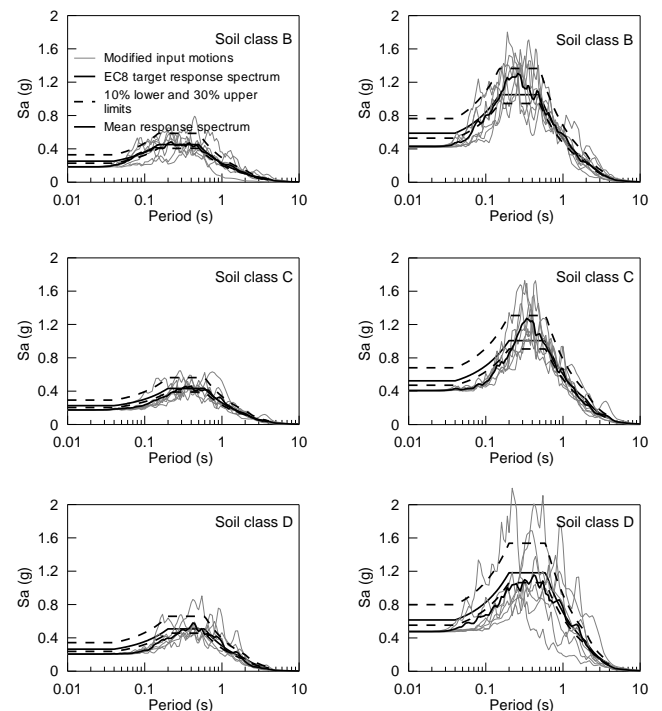


Figure 5. Spectral responses of seven modified surface input motions to the EC8 target response spectra for soil classes B, C and D at 0.15g (left figures) and 0.35g (right figures) seismic intensity levels.

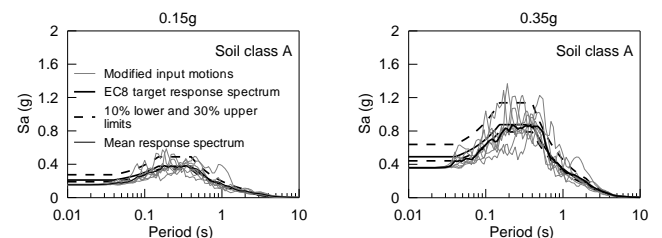


Figure 6. Spectral responses of seven modified outcrop input motions to the EC8 target response spectra of soil class A at 0.15g and 0.35g seismic intensity levels.

The modified surface input motions represented in Figure 5 are directly applied to the building model. The modified outcrop input motions shown in Figure 5 are

firstly propagated through the soil models, then, applied to the building model. The outcrop standard design spectrum is represented in Figure 6 with the legend of EC8 target response spectrum. It should be noted in here that processing the outcrop input motions through the soil deposits causes the spectral values to be underpredicted at periods less than 0.3 s (seen in Figure 7). This is more apparent at the higher seismic intensity level (i.e. 0.35g) attributing probably to the induced higher strains. Nevertheless, the nonlinear ground response analyses lead to better spectral predictions above the period of 0.3 s. These results are in line with the literature (Kaklamanos, Baise, Thompson & Dorfmann, 2015) and cannot bias the current work, as the periods of the building model are well above the underpredicted region in the spectral response curves.

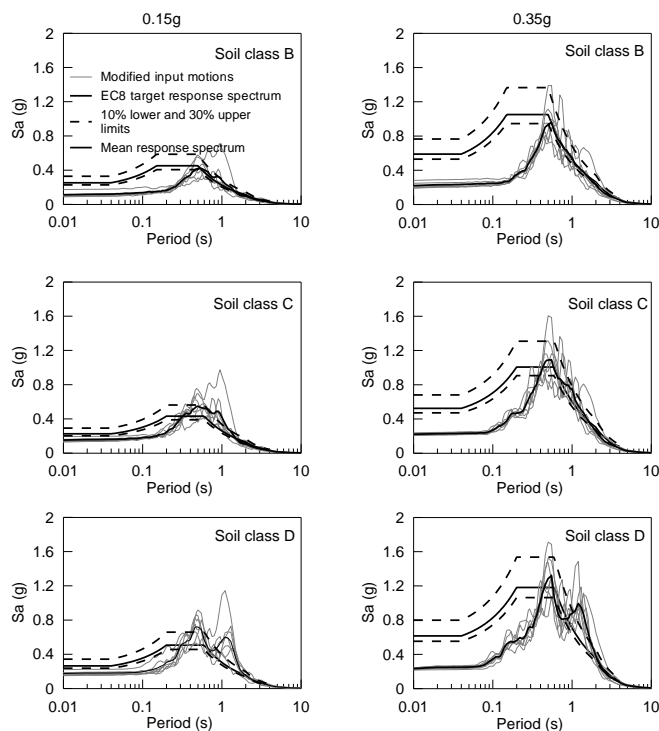


Figure 7. Spectral responses of processed input motions at 0.15g (left figures) and 0.35g (right figures) seismic intensity levels through the soil deposits classified with class B, C and D according to EC8 criterion.

5. Results

The response of one-storey one-bay structure model with first mode period of 1.17 s is represented in terms of drift response. Figure 8a and Figure 8b reports the drift responses of building under processed outcrop input motions (Case 1). Figure 8c and Figure 8d indicate the responses of the model under modified surface input motions recorded on soil classes B, C and D (Case 2). Additionally, Figure 9a and Figure 9b compares the medians of drift responses in Case 1 and Case 2 followed

by the standard deviation comparisons in Figure 9c and Figure 9d.

The drift responses in both Case 1 and Case 2 increase from stiffer soil (i.e. soil type B) to relatively softer soil (i.e., soil type D) with different levels of variability. This is correctly accounted for by the EC8 approach, which considers the influence of the soil deposit stiffness on the target response spectra by introducing a different soil factor for each soil class. Since the softer soil deposit has more impact on the spectral responses than the stiffer soil deposit (as also observed by Rey, Faccioli & Bommer, 2002), soil factors given by EC8 for softer soils is greater than stiffer soils. This means that the EC8 target response spectrum for soil class D has the greatest spectral values followed by the spectrum for soil type C and B, respectively. It is also obvious that, for the same soil deposit, the drift responses are higher at 0.35g seismic intensity level than at 0.15g seismic intensity level, both in Case 1 and Case 2.

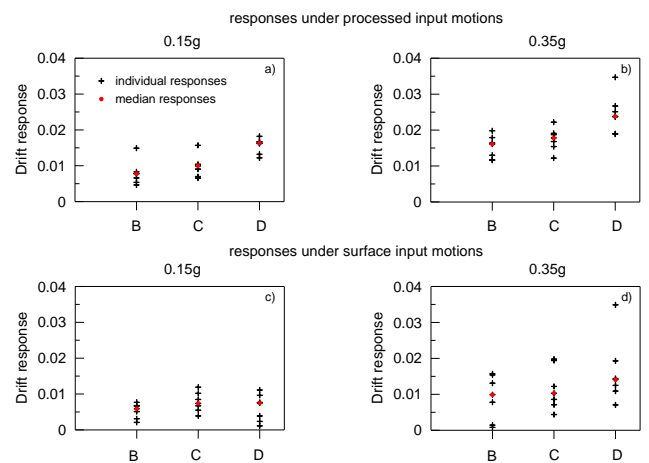


Figure 8. Drift responses of the building model with 1.17 s of first mode period on top of the ideal sites with soil classes B, C and D under; processed input motions (a, b) and surface input motions (c, d) at 0.15g and 0.35g seismic intensity levels.

Figure 8 also indicates that the median responses in Case 1 are greater than those obtained in Case 2. This is shown apparently in Figure 9a and in Figure 9b for the three types of soils. In terms of standard deviations (std) presented in Figure 9c and Figure 9d, modified surface input motions always lead to more scattered drift responses than those obtained under processed input motions at the higher seismic intensity level and at all soil types. However, this is not quite valid in case of the lower seismic intensity level, especially at soil types of B and C.

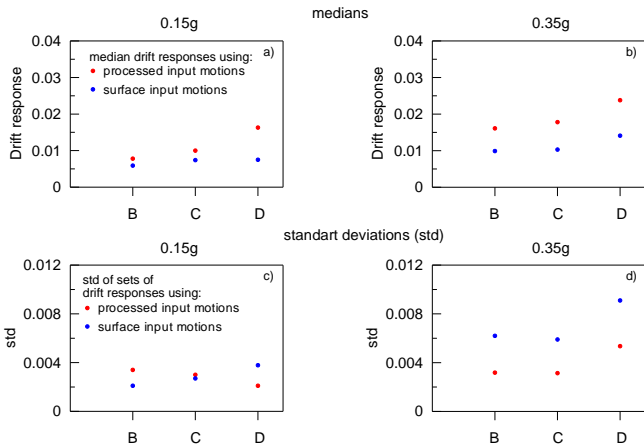


Figure 9. Comparisons of medians (a, b) and standard deviations (c, d) of the sets of drift responses shown in Figure 7 for three different soil types at 0.15g and 0.35g seismic intensity levels.

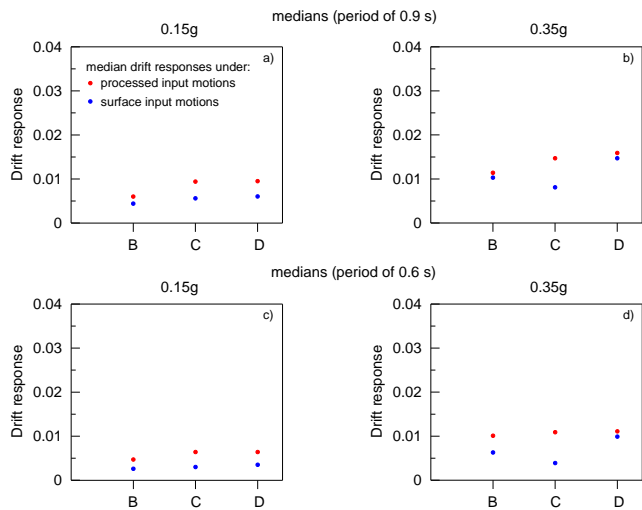


Figure 10. Comparisons of median drift responses of building models with first mode periods of 0.9 s (a, b) and 0.6 s (c, d) under processed input motions and surface input motions.

Finally, building models characterised by first mode periods of 0.9 s and 0.6 s are analysed accounting for the two SSI approaches, as seen in Figure 10 (a, b) and Figure 9 (c, d), respectively. It is, again, clear that the median drift responses under processed input motions are larger than those attained from the surface input motions for all three types of soils at both seismic intensity levels. The trend of drift responses getting greater towards the softer soil type is also observed in both building models, attributing to the relatively greater influence of the soft soil deposits on the surface input motions.

Figure 11 indicates median drift responses of the building models with three different first mode periods, 1.17 s, 0.9 s and 0.6 s under processed (a, b) and

modified surface (c, d) input motions. The shorter the building period, the lesser the median drift response is experienced by the model for each soil class and at both seismic intensity levels.

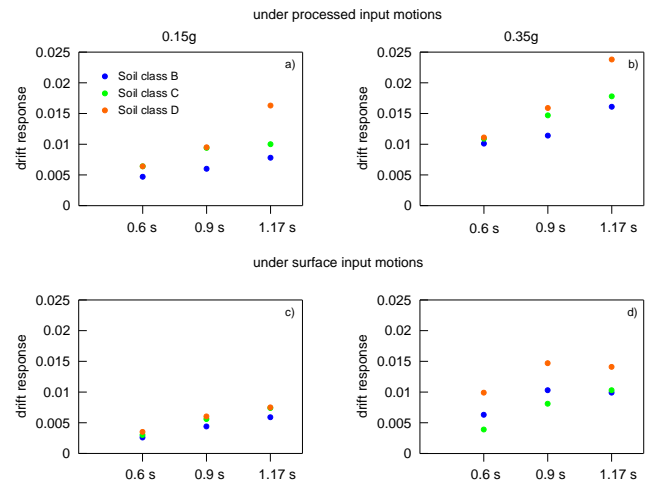


Figure 11. Median drift responses of building models with 0.6 s, 0.9 s and 1.17 s periods on top of the soil types of B, C and D under processed and surface input motions under 0.15g and 0.35g seismic intensity levels.

6. Conclusions

In this study, the seismic response of one-bay 1-storey building model is assessed via fixed-base and decoupled SSI approaches. In fixed-base approach, the model of the column bases are fixed and EC8-compliant selected input motions are applied. In decoupled approach, instead, the outcrop input motions are firstly selected and propagated through the soil columns (e.g. free-field soil deposits) by performing nonlinear site response analyses. Then, from site response analyses, surface input motions are attained. Ultimately, these surface input motions are applied to the building model. Three different soil classes of B, C and D and two seismic intensity levels (i.e. 0.15g and 0.35g) are considered in both approaches.

The main conclusions of the work are;

- The building response depends directly on the applied seismic input motions and it increases with the increase of seismicity level.
- There is also strong dependency of drift responses to the fundamental period of the building model. Building model having higher period tends to experience higher horizontal displacements.
- The drift responses of the model become larger when the decoupled approach is adopted. Hence, the decoupled approach can result in more conservative design of buildings. In particular, this approach can be appreciated when buildings are situated on softer soil deposits, where greater level of nonlinearity is accumulated.

- The stiffer the soil deposit, the lesser the building model can induce the drift response. This finding justifies the reason of engineering practitioner's intention of preferring stiff soil deposits underneath building foundations.

Author contributions

Contributions of Yusuf GÜZEL; soil modelling, nonlinear site response analyses, writing of the original draft, Fidan GÜZEL; input motion selections, building model and analyses.

Conflict of Interest

The authors, hereby, declare no conflict of interest.

References

- Amirzehni, E., Taiebat, M., Finn, W. L., & DeVall, R. H. (2015). Ground motion scaling/matching for nonlinear dynamic analysis of basement walls. In *Proceedings of the 11th Canadian Conference on Earthquake*. Victoria: BC, Canada. Retrieved from https://www.caee.ca/pdf/Paper_98723.pdf
- Ancheta, T. D., Darragh, R. B., Stewart, J. P., Seyhan, E., Silva, W. J., Chiou, B. S. J., ... & Donahue, J. L. (2013). PEER NGA-West2 Database (PEER Report No. 2013/03). Pacific Earthquake Engineering Research Center. University of California, Berkeley. Retrieved from https://apps.peer.berkeley.edu/publications/peer_reports/reports_2013/webPEER-2013-03-Ancheta.pdf
- Bathe, K.J. (1982). *Finite element procedures in engineering analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
- CEN. (2005). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. Brussels.
- Chan AHC. (1993). *User manual for DIANA SWANDYNE-II*. School of Civil Engineering, University of Birmingham.
- Elia, G. (2015). Site Response for Seismic Hazard Assessment. *Encyclopedia of Earthquake Engineering*. doi:http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-36197-5_241-1
- Elia, G., & Rouainia, M. (2013). Seismic performance of earth embankment using simple and advanced numerical approaches. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(7), 1115-1129. doi:[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000840](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000840)
- Elia, G., & Rouainia, M. (2014). Performance evaluation of a shallow foundation built on structured clays under seismic loading. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(4), 1537-1561. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s10518-014-9591-3>
- Elia, G., Rouainia, M., Karofyllakis, D., & Guzel, Y. (2017). Modelling the non-linear site response at the LSST down-hole accelerometer array in Lotung. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 102, 1-14. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.08.007>
- Galasso, C., & Iervolino, I. (2011). Relevant and minor criteria in real record selection procedures based on spectral compatibility. In *Proceedings of the 14th conference ANIDIS "L'ingegneria sismica in Italia"*. Bari (Italy). Retrieved from http://wpage.unina.it/iuniervo/papers/Galasso_Iervolino_ANIDIS_2011.pdf
- Gokhan, D. O. K., Ozturk, H., & Demir, A. (2017). Determining moment-curvature relationship of reinforced concrete columns. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, (1), 52-58. Retrieved from <http://www.epstem.net/en/download/article-file/379911>
- Guzel, Y. (2019). *Influence of input motion selection and soil variability on nonlinear ground response analyses (Doctoral dissertation)*. Newcastle University. Retrieved from <http://theses.ncl.ac.uk/jspui/handle/10443/4436>
- Guzel, Y., Elia, G., & Rouainia, M. (2017). The effect of input motion selection strategies on nonlinear ground response predictions. In *COMPdyn 2017-Proceedings of the 6th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering* (pp. 3739-3747). Rhodes Island (GR): National Technical University of Athens. doi:<http://dx.doi.org/10.7712/120117.5679.17209>
- Hancock, J., Watson-Lamprey, J., Abrahamson, N. A., Bommer, J. J., Markatis, A., McCoy, E. M. M. A., & Mendis, R. (2006). An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets. *Journal of Earthquake Engineering*, 10(spec01), 67-89. doi:<https://doi.org/10.1080/13632460609350629>
- Iervolino, I., & Manfredi, G. (2008). A review of ground motion record selection strategies for dynamic structural analysis. *Modern Testing Techniques for Structural Systems*, 131-163. doi:http://dx.doi.org/10.1007/978-3-211-09445-7_3
- Iervolino, I., Galasso, C., & Cosenza, E. (2010). REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8(2), 339-362. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s10518-009-9146-1>
- Kaklamanos, J., Baise, L. G., Thompson, E. M., & Dorfmann, L. (2015). Comparison of 1D linear, equivalent-linear, and nonlinear site response models at six KiK-net validation sites. *Soil Dynamics and*

Earthquake Engineering, 69, 207-219.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2014.10.016>

Kottke, A., & Rathje, E. M. (2008). A semi-automated procedure for selecting and scaling recorded earthquake motions for dynamic analysis. *Earthquake Spectra*, 24(4), 911-932.

doi:<http://dx.doi.org/10.1193/1.2985772>

Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. New Jersey: Prentice Hall.

Mazzoni, S., Hachem, M., & Sinclair, M. (2012). An improved approach for ground motion suite selection and modification for use in response history analysis. In XV World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa. Retrieved from https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_5752.pdf

Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. H., & Fenves, G. L. (2006). *OpenSees command language manual*. Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, 264, 137-158. Retrieved from <https://opensees.berkeley.edu/OpenSees/manuals>

Pinzón, L.A., Mánica, M.A., Pujades, L.G. & Alva, R.E., 2020. Dynamic soil-structure interaction analyses considering directionality effects. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 130, 106009. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.106009>

Pitilakis, K., Riga, E., & Anastasiadis, A. (2012). Design spectra and amplification factors for Eurocode 8. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 10(5), 1377-1400. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s10518-012-9367-6>

Pitilakis, K., Riga, E., & Anastasiadis, A. (2013). New code site classification, amplification factors and normalized response spectra based on a worldwide ground-motion database. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11(4), 925-966. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s10518-013-9429-4>

Rathje, E. M., Kottke, A. R., & Trent, W. L. (2010). Influence of input motion and site property variabilities on seismic site response analysis. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(4), 607-619.

doi:[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000255](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000255)

Rey, J., Faccioli, E., & Bommer, J. J. (2002). Derivation of design soil coefficients (S) and response spectral shapes for Eurocode 8 using the European Strong-Motion Database. *Journal of Seismology*, 6(4), 547-555. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1021169715992>

Roesset, J. M. (1977). Soil amplification of earthquakes. *Numerical Methods in Geotechnical Engineering*, 639-682. Retrieved from <https://ci.nii.ac.jp/naid/10007803851/>

Rouainia, M., & Muir Wood, D. (2000). A kinematic hardening constitutive model for natural clays with loss of structure. *Géotechnique*, 50(2), 153-164. doi:<http://dx.doi.org/10.1680/geot.2000.50.2.153>

Shome, N., Cornell, C. A., Bazzurro, P., & Carballo, J. E. (1998). Earthquakes, records, and nonlinear responses. *Earthquake Spectra*, 14(3), 469-500. doi:<http://dx.doi.org/10.1193/1.1586011>

Stewart, J.P. (2008). Benchmarking of nonlinear geotechnical ground response analysis procedure. Pacific Earthquake Engineering Research Center (NTIS issue no. 201212). University of California, Berkeley. Retrieved from <https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/PB2012106298.xhtml>

Tönük, G., Ansal, A., Kurtuluş, A., & Çetiner, B. (2014). Site specific response analysis for performance based design earthquake characteristics. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(3), 1091-1105. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s10518-013-9529-1>

Viggiani, G., & Atkinson, J. H. (1995). Stiffness of fine-grained soil at very small strains. *Géotechnique*, 45(2), 249-265. doi:<http://dx.doi.org/10.1680/geot.1995.45.2.249>

Vucetic, M., & Dobry, R. (1991). Effect of soil plasticity on cyclic response. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(1), 89-107. doi:[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1991\)117:1\(89\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1991)117:1(89))

Appendix-1

Table 1. General properties of earthquake events adopted in the selection and modification of input motions at 0.15g seismicity levels.

Soil Class	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]
A	Campano Lucano	11/23/1980	6.9	normal	25	0.588	0.588	0.044	0.059
	Kalamata	10/13/1997	6.4	thrust	61	0.205	0.201	0.015	0.015
	Kalamata	10/13/1997	6.4	thrust	103	0.126	0.113	0.013	0.011
	Mt. Vatnafjoll	5/25/1987	6	oblique	42	0.138	0.131	0.010	0.012
	Bingol	5/1/2003	6.3	strike slip	14	5.051	2.918	0.336	0.210
	Izmit	8/17/1999	7.6	strike slip	47	2.334	1.328	0.221	0.125
	Montenegro	4/15/1979	6.9	thrust	21	1.774	2.199	0.171	0.259
B	South of Vathi	11/5/1997	4.6	?	163	0.128	0.106	0.009	0.008
	Kalamata	9/13/1986	5.9	normal	11	2.354	2.670	0.315	0.235
	Montenegro (aftershock)	5/24/1979	6.2	thrust	20	0.560	0.543	0.036	0.043
	Manesion	6/7/1989	5.2	oblique	24	0.265	0.254	0.026	0.022
	Aigion (aftershock)	6/15/1995	5.6	oblique	34	0.103	0.093	0.010	0.011
	Strofades	11/18/1997	6.6	oblique	38	1.289	1.135	0.109	0.078
	Montenegro	4/15/1979	6.9	thrust	16	3.680	3.557	0.421	0.520
C	Griva	12/21/1990	6.1	normal	51	0.059	0.081	0.009	0.009
	Adana	6/27/1998	6.3	strike slip	30	2.158	2.644	0.278	0.203
	Ionian	11/4/1973	5.8	thrust	15	5.146	2.498	0.570	0.255
	Friuli (aftershock)	9/15/1976	6	thrust	9	1.069	0.932	0.108	0.112
	Manjil	6/20/1990	7.4	oblique	81	0.951	0.842	0.116	0.153
	Komilion	2/25/1994	5.4	oblique	15	1.307	1.345	0.103	0.119
	Campano Lucano	11/23/1980	6.9	normal	137	0.372	0.311	0.084	0.072
D	Duzce 1	11/12/1999	7.2	oblique	174	0.1844	0.223	0.039	0.021
	Griva	12/21/1990	6.1	normal	66	0.0566	0.1011	0.004	0.012
	Kalamata	9/13/1986	5.9	normal	10	2.1082	2.9095	0.327	0.323
	Kalamata	9/13/1986	5.9	normal	11	2.3537	2.6703	0.315	0.235
	South Iceland (aftershock)	6/21/2000	6.4	strike slip	14	1.7476	1.1423	0.097	0.177
	Adana	6/27/1998	6.3	strike slip	30	2.1575	2.6442	0.278	0.203
	Montenegro	4/15/1979	6.9	thrust	16	3.6801	3.5573	0.421	0.52

Table 2. General properties of earthquake events adopted in the selection and modification of input motions at 0.35g seismicity levels.

Soil Class	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]
A	Campano Lucano	11/23/1980	6.9	normal	25	0.588	0.588	0.044	0.059
	Kalamata	10/13/1997	6.4	thrust	61	0.205	0.201	0.015	0.015
	Izmit (aftershock)	9/13/1999	5.8	oblique	15	0.714	3.112	0.055	0.145
	Vrancea	8/30/1986	7.2	thrust	49	0.823	1.408	0.151	0.132
	Campano Lucano	11/23/1980	6.9	normal	32	2.121	3.166	0.330	0.553
	Bingol	5/1/2003	6.3	strike slip	14	5.051	2.918	0.336	0.210
	Izmit	8/17/1999	7.6	strike slip	78	0.512	1.040	0.043	0.149
B	South of Vathi	11/5/1997	4.6	?	163	0.128	0.106	0.009	0.008
	Kalamata	9/13/1986	5.9	normal	11	2.354	2.670	0.315	0.235
	Montenegro (aftershock)	5/24/1979	6.2	thrust	20	0.560	0.543	0.036	0.043
	Umbria Marche	9/26/1997	6	normal	38	0.897	0.948	0.136	0.176
	Strofades	11/18/1997	6.6	oblique	38	1.289	1.135	0.109	0.078
	Gulf of Akaba	11/22/1995	7.1	oblique	93	0.783	0.894	0.099	0.104
	Campano Lucano	11/23/1980	6.9	normal	33	0.968	0.975	0.134	0.068
C	Duzce 1	11/12/1999	7.2	oblique	174	0.184	0.223	0.039	0.021
	Griva	12/21/1990	6.1	normal	66	0.057	0.101	0.004	0.012
	Kalamata	9/13/1986	5.9	normal	10	2.108	2.910	0.327	0.323
	Kalamata	9/13/1986	5.9	normal	11	2.354	2.670	0.315	0.235
	South Iceland (aftershock)	6/21/2000	6.4	strike slip	14	1.748	1.142	0.097	0.177
	Duzce 1	11/12/1999	7.2	oblique	8	3.699	5.036	0.357	0.635
	Montenegro	4/15/1979	6.9	thrust	16	3.680	3.557	0.421	0.520
D	Strofades (aftershock)	11/18/1997	6	strike slip	160	0.146	0.128	0.015	0.012
	Duzce 1	11/12/1999	7.2	oblique	174	0.184	0.223	0.039	0.021
	Adana	6/27/1998	6.3	strike slip	30	2.158	2.644	0.278	0.203
	Ionian	11/4/1973	5.8	thrust	15	5.146	2.498	0.570	0.255
	Kalamata	9/13/1986	5.9	normal	10	2.108	2.910	0.327	0.323
	Kalamata	9/13/1986	5.9	normal	10	2.108	2.910	0.327	0.323
	Montenegro	4/15/1979	6.9	thrust	16	3.680	3.557	0.421	0.520

SELECTION OF AN APPROPRIATE PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT USING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

Nilufer KURSUNOGLU¹, Seyhan ONDER², Mustafa ONDER^{3*}

¹ Batman University, Engineering Faculty, Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, Batman,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-1765-9015>

² Eskisehir Osmangazi University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Mining Engineering, Eskisehir,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-0396-9995>

³ Eskisehir Osmangazi University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Mining Engineering, Eskisehir,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-9267-1543>

Keywords	Abstract
<p>Personal protective equipment Analytic Hierarchy Process Health and safety Decision making</p>	<p>The main principles of safety risk reduction are elimination, substitution, and engineering controls. Hazardous conditions, safe work practices, and other forms of managerial controls should be provided for a safe work environment. For this reason, the use of personal protective equipment (PPE) is inevitable for employees. PPE can help mitigate accidents and injuries associated with hazardous materials or other potentially unsafe working conditions. Thus, the selection of a suitable PPE is a significant step in a safe working environment. PPE selection process is complex and involves multiple criteria decision making since several parameters affect PPE selection. In this study, factors affecting PPE selection were determined as Safety Features, Comfort and Efficiency, Design Principles, and Customer Support. In the present study, a systematic methodology to select an appropriate PPE was performed using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The results indicate that Safety Features main criterion is the most significant factor, followed by Comfort and Efficiency, Design Principles, and Customer Support main criteria, respectively.</p>

ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ METODU İLE UYGUN KİŞİSEL KORUYUCU EKİPMAN SEÇİMİ

Anahtar Kelimeler	Öz
<p>Kişisel koruyucu ekipman Analitik hiyerarşi prosesi Sağlık ve güvenlik Karar verme</p>	<p>Emniyet riskinin azaltılmasının ana ilkeleri eleme, ikame ve mühendislik kontrolleridir. Güvenli çalışma ortamını sağlamak için tehlikeli koşullar, güvenli çalışma uygulamaları ve diğer yönetsel kontrol biçimleri gözden geçirilmelidir. Bu nedenle çalışanlar için kişisel koruyucu ekipman (KKD) kullanımı kaçınılmazdır. KKD, tehlikeli maddelerle veya diğer potansiyel olarak güvenli olmayan çalışma koşullarıyla ilişkili kazaları ve yaralanmaları azaltmaya yardımcı olabilir. Bu nedenle, uygun bir KKD'nin seçimi, güvenli bir çalışma ortamında önemli bir adımdır. KKD seçim süreci karmaşıktır ve çeşitli parametreler KKD seçimini etkilediği için birden çok kriterli karar vermeyi içerir. Bu çalışmada KKD seçimini etkileyen faktörler; Güvenlik Özellikleri, Konfor ve Verimlilik, Tasarım İlkeleri ve Müşteri Desteği olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak uygun bir KKD seçmek için sistematik bir metodoloji uygulanmıştır. Çalışma sonuçları, Güvenlik Özellikleri ana kriterinin en önemli faktör olduğunu ve bunu sırasıyla Konfor ve Verimlilik, Tasarım İlkeleri ve Müşteri Desteği ana kriterlerinin izlediğini göstermektedir.</p>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 07.10.2021	Submission Date : 07.10.2021
Kabul Tarihi : 02.02.2022	Accepted Date : 02.02.2022

* Sorumlu yazar; e-posta : monder@ogu.edu.tr



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

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

1. Introduction

It is well known that PPE should be used to minimize the effects of hazards on employees' health. The adverse effects of hazards cannot be completely removed by PPE, yet the risk of employee health can be largely mitigated. Employers need to be aware of using PPE. Health expenditures of employers' can be reduced using an appropriate PPE (Yarpuz-Bozdogan, 2018). Occupational safety and health (OSH) has a multidisciplinary characteristic that tends to the improvement of the safety and health of societies that existed in the workplace. According to the International Labour Organization (ILO), 2.3 million persons die each year due to occupational incidents or disease, and 350.000 of these losses are ascribable to work-related accidents. Moreover, ILO guesses that there are 264 million non-death events annually that result in labor-sourced diseases, causing almost 3 days of lack of work. In recent research, ILO highlighted that 860.000 work-related accidents take place every day and direct or indirect cost for work-related diseases and incidents is predicted at \$2.8 trillion worldwide (Amponsah-Tawiah and Mensah, 2016). Considering the magnitude of the problem, it is significant to understand the OSH approach which mainly focuses on issues related to the behavior of employees.

PPE may give a false sense of security leading to ignorance of even simple precautions (selection and use). Although elimination of hazard is the first step, it has been estimated that industrial injuries originate from employee-related errors in 84% to 94% and one of the most common faults is disregarding PPE (Olson, Grosshuesch, Schmidt, Gray and Wipfli, 2009). Inappropriate use of PPE can cause injuries and diseases in workplaces. Research, based on 1986-88 United States Occupational Safety and Health Administration (OSHA) indicated that occupational injuries and diseases can be prevented by up to 37.6% with the regular usage of PPE. Based on OSHA statistics, about 12-14% of total occupational injuries originate due to employees do not wear appropriate PPE (Akbar-Khanzadeh and Bisesi, 1995). Thus, PPE selection is an essential task. The methods that have already been used to select a PPE are mainly focused on risk evaluation and identifying hazards in workplaces. However, many parameters affect PPE selection, therefore, the problem of PPE selection can be evaluated using a decision-making methodology. A Multiple Criteria Decision Making (MCDM) strategy can be used to carry out this process. The basic goal of MCDM is to assist a decision-maker in selecting a suitable alternative from a set of alternatives (Saaty, 1990). Choosing the right PPE is a multi-criteria decision making problem that takes into account constraints, preferences, and priorities. AHP could be a viable option for resolving this type of situation. The AHP technique has gained favor among

decision-makers because it is simple to use. The AHP technique aids in the development of a systematic decision-making process based on various criteria and the subjective preferences of the decision-makers. For this reason, the AHP is convenient in a wide variety of practices in the literature (Aminbakhsh, Gunduz and Sonmez, 2013; Kursunoglu and Onder, 2015; Li, Díaz and Soares, 2021; Liu, Cheng, Yu and Xu, 2018; Wang, Dong, Dong, Yang, Ju, Huang and Ren, 2013). AHP has been substantially used in several disciplines including mining and metallurgy, occupational safety systems, production prediction, selecting industrial robots (Alpay and Yavuz, 2009; Breaz, Bologna, and Racza, 2017; Chan, Kwok and Duffy, 2004; Geng, Li, Zhu and Han, 2018; Janackovic, Stojiljkovic and Grozdanovic, 2017; Kursunoglu and Onder, 2015; Kursunoglu, Ichlasb and Kaya, 2017; Yavuz, Iphar and Once, 2008).

The main object of the present study is to choose an appropriate PPE for different mining firms by using the AHP method. The decision-making criteria of this study which is efficient for the selection process were evaluated according to the Personal Protective Equipment Regulation prepared by the Turkish Ministry of Labour and Social Security (PPER, 2013). After determining alternative PPE firms, the selection process was performed according to the manufacturers' catalogs on the basis of consensus decisions reached by occupational health and safety experts, and the most appropriate PPE was selected.

2. Literature Review

Employers have the responsibility to provide a safe work environment taking the necessary precautions associated with OSH. The use of PPE is one of these measures. Risk is the probability of an incident affecting the activity's objectives. It is a function of both consequences and likelihood. Therefore, hazards indicate the basis of damage or loss, but the risk is the possibility of the existence of the damage or loss (Caputo, Pelagagge and Salini, 2013). The greater the consequences, the greater the workplace risk. Similarly, the more certain the event occurs, the greater the risk (UOW, 2014). There are several studies in the literature regarding the use of PPE in risk conditions. Andrade-Rivas and Rother (2015) investigated employees' PPE compliance as a risk reduction measure by analyzing their risk perceptions of herbicide use, working conditions, and socio-cultural context. Balkhyour, Ahmad and Rehan (2018) assessed the suitability and usage of PPE in addition to reported occupational exposures between employees in researched minor industries in Jeddah. The research was carried out to collect data on sociological and demographic features, occupational exposures, and incidence of PPE used by employees. Oh and Uhm (2016) determined the status

of occupational exposures between medical employees to infectious risks and their use of PPE in prehospital environments.

The first crucial step to form an extensive health and safety environment is to determine physical and health hazards in the working place. This process is named hazard assessment (OSHA, 2004). PPE can provide an efficient barrier between the body and a potential hazard. However, malfunctioning, ill-fitting, or inappropriate PPE can cause unnecessary exposure.

3. The Analytic Hierarchy Process

The AHP technique is based on a series of binary judgments that take into account decision-makers perceptions and evaluations. The evaluations are carried out utilizing a scale of specific decisions that show how much one aspect is superior to another based on a given feature (Saaty, 2008). The AHP methodology was described below (Saaty, 1990).

1. Determine judgment measure C_i to rank and evaluate alternatives.
2. Determine the number of alternatives to be sorted.
3. A binary comparing matrix $a \times a$ is created, where a is the number of components to be compared.

$X(x_{ij})$ with $(i, j = 1, 2, \dots, a)$

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1a} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2a} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{a1} & x_{a2} & \dots & x_{aa} \end{bmatrix}$$

where $x_{ij} > 0$, $x_{ij} = 1/x_{ji}$, $x_{ii} = 1$, and x_{ij} is the comparative significance of criterion i respect criterion j . The relative relevance of the two components is determined using Saaty's nine-point scale (Saaty, 2008).

4. Determine the relative priorities of criteria or alternatives. The comparative importance is performed using the eigenvector theory. The matrix A 's relative weight is determined.

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_a] \tag{1}$$

where W is the normalized main eigenvector of matrix X .

5. Calculating the consistency index of matrix X defines its consistency (CI).

$$CI = (\lambda_{\max} - a) / (a - 1) \tag{2}$$

where λ_{\max} is the maximum eigenvalue and a is the dimension of the matrix. The consistency ratio (CR) is calculated.

$$CR = CI / RI \tag{3}$$

where RI signifies Saaty's random index values for several matrix dimensions. The decision-judgments makers are suitable if the CR values of the matrices are less than or equal to 0.10. If results more than 0.10 are achieved, the decision-comparisons makers are verified. (Kursunoglu and Onder, 2015).

6. A binary judgment matrix is constructed between alternatives to determine the degree to which one alternative dominates another based on a criterion.
7. Determine the alternatives' final ratings.

The authors declare that research and publication ethics were followed in this study.

4. Application of the AHP

4.1. Development of the AHP

Considering the factors that can be influential to select a suitable PPE, four main criteria were determined as Design Principles, Safety Features, Comfort and Efficiency, and Customer Support, with their sub-criteria. The main criteria and sub-criteria were presented in Table 1.

In the first step of the AHP model, a hierarchical structure was constituted. This includes the objective, all decision criteria, and alternatives. The main objective is involved in Level 1. The main criteria and sub-criteria are situated in Level 2. Level 3 demonstrates the alternatives that influence the choice of PPE (Figure 1).

Table 1

Definitions of Criteria and Sub-criteria

Criteria	Sub-criteria	Definitions
Design Principles (A)	Ergonomics (A_1)	Describes the design and manufacture to protect the user at the highest possible level.
	Maximum possible protection level (A_2)	Describes the point that the effectiveness of PPE begins to decline when the user is exposed to risks arising from the use of PPE or during common working conditions.
	Proper protection classes for different risk levels (A_3)	Describes considering selecting appropriate protection classifications in the case of conditions of use vary.
Safety Features (B)	Absence of discomfort risks caused by the structure of PPE (B_1)	Describes being manufactured in such a way as not to cause hazards and any other disturbing factors that may arise from its structure.
	Manufacture of appropriate materials (B_2)	Describes PPE material and its components including deterioration-causing substances, not to affect the health and hygiene of the user negatively.
	Compliance of PPE to the user-contacted surface (B_3)	Describes any PPE element in contact with or likely to contact the user not to have hard, sharp edges and protrusions that may cause irritation or injury.
	Non-blocking feature (B_4)	Describes minimizing the loss of sensitivity in sensory organs and limitations of posture and movements. It also describes not causing movements that may be dangerous to the user or other persons.
Comfort and Efficiency (C)	Conformity to body structure (C_1)	Describes the adaptation of different body structures with adjustable and attachable systems
	Lightness and durability (C_2)	Describes the ability to withstand the effects of working conditions and also describes to be as light as possible so as not to reduce its functionality.
	Adaptation of different PPE classes (C_3)	Describes the different types and classes of PPE to be compatible with each other to protect simultaneously close parts of the body against multiple risks.
Customer Support (D)	Name and address of the manufacturer or its authorized representative (D_1)	Describe the PPE manufacturer company or its authorized agent
	Technical test and performance results to measure the class or level of protection (D_2)	Describes the product conformity tests performed by the certified organization.
	Features of suitable accessories and spare parts (D_3)	Describe the compatibility of used accessories with PPE
	Useful life (D_4)	Describes the expected durability of PPE in the considered working environment.
	Cost (D_5)	Describes the purchase cost

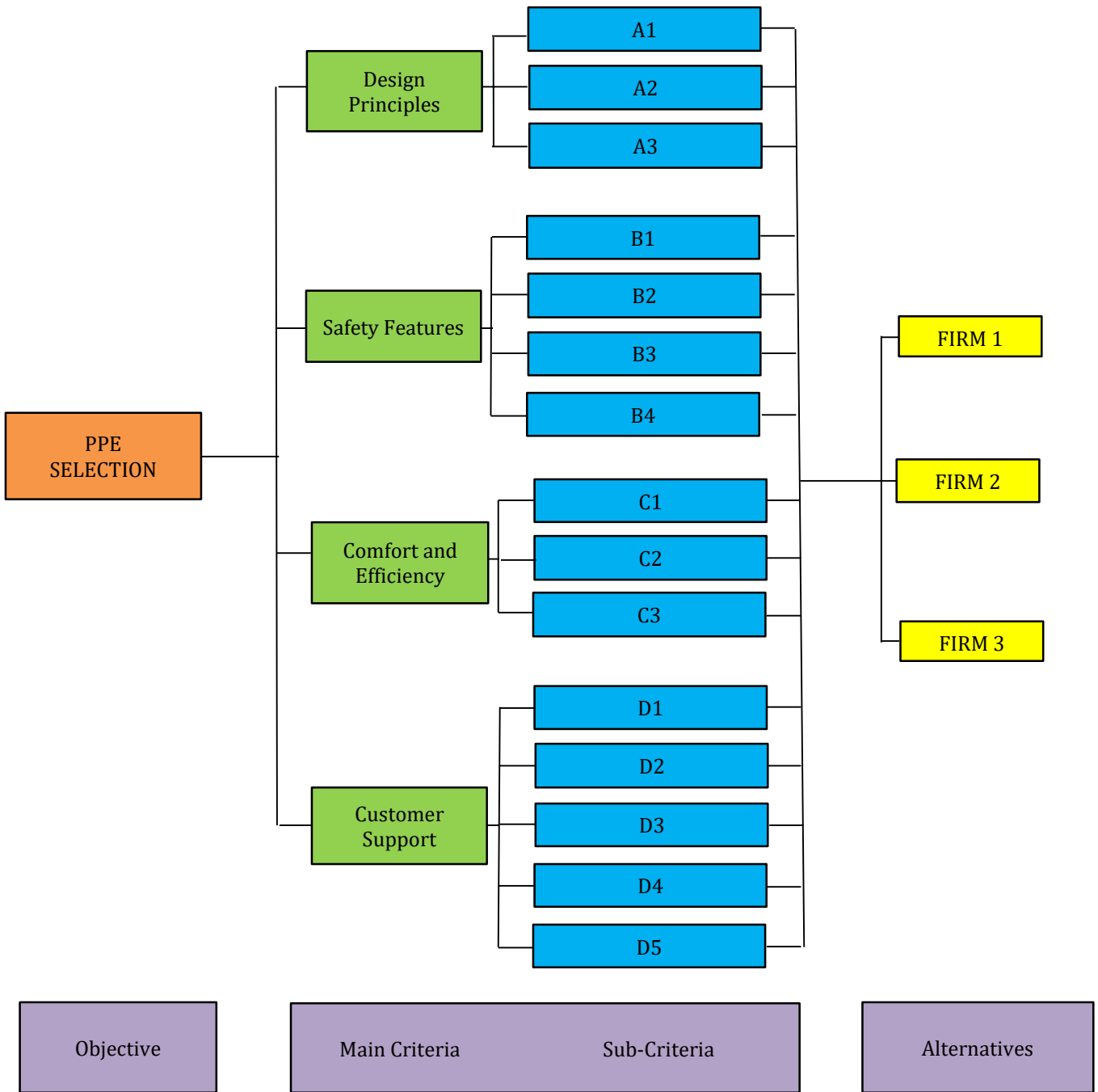


Figure 1. The Hierarchical Structure Of PPE Selection

4.2. Identification of the Alternatives

Many guidelines and technical standards (ANU, 2011; EIGA, 2017; OSHA, 2004) are mainly related to preventing injuries and hazards, identifying the various types, and showing the correct practice of PPE. However, they are inadequate to offer users a better solution among the available alternatives. Therefore, a methodology was developed in the present study to

choose an appropriate PPE based on the opinions of expert in occupational health and safety field. For the purpose of selecting the firms, the general manager, project manager, and site engineers who are experts in occupational health and safety were consulted. The technical PPE descriptions of the firms were given in Table 2.

Table 2

The Technical PPE Descriptions of The Firms

Type of PPE	Firm 1	Firm 2	Firm 3
Ear protection	<ul style="list-style-type: none"> • Re-usable. • Comfortable to wear 	<ul style="list-style-type: none"> • Washable. • Have additional systems in place to notify the user in the event of an emergency. • Comfortable to wear adjustable ear muffs 	<ul style="list-style-type: none"> • Re-usable. • Adjustable ear muffs.

Noise is one of the most important environmental problems of our age. Industrial equipment-related noise can cause significant damage to employees if adequate and efficient measures are not taken. Therefore, the present study focused on the problem of hearing loss. Noise-induced hearing loss is an invisible disease that affects almost 14 million employees in the United States. According to the National Health and Nutrition Examination Survey, it has been estimated that 22 million employees are exposed to dangerous stages of noise, which cause occupational hearing loss. Hearing loss is over 20% for employees in the mining, railroad, and principal metal production industries. Among noise-exposed employees, prevalence rates of 25% for mining and construction sectors and 20% for the manufacturing sector are in Figure 2 (Murphy, 2016).

the manufacturer catalogs by occupational safety and health experts in the deciding process.

4.3. Binary Comparisons

The principal objective of the present study is to determine the most appropriate PPE. A hierarchical structure was formed for the selection problem. ExpertChoice® 2000 program was utilized for this purpose. The pair-wise comparison matrices were obtained based on occupational safety and health experts' opinions. The pair-wise matrices were constructed concerning Saaty's 9-point scale (Table 1). The matrices are reciprocal. When assessing the criteria *i* and *j*, the reciprocal value represents the judgment between *j* and *i*. Determination of λ_{max} , *CR*, and *CI* was performed according to the explanations given in Section 3. The values of *CR* vary between 0 and 0.10 in the present study. This indicates that comparisons between the factors are consistent. Table 3 depicts the binary comparison matrix of the main criteria.

Table 3

Binary Comparison Matrix For The Main Criteria.

PPE Selection	A	B	C	D	Local Priorities	
A	1	1/6	1/5	2	0.088	$\lambda_{max}= 4.143$
B	6	1	3	7	0.572	<i>CR</i> =0.048
C	5	1/3	1	4	0.279	<i>CI</i> = 0.05 ≤ 0.10
D	1/2	1/7	1/4	1	0.062	

Considering the results displayed in Table 4, Safety Features (B) main criterion is the most significant factor (weight value: 0.572), followed by Comfort and Efficiency (C), Design Principles (A), and Customer Support (D) main criteria, respectively. Matrices given in Tables 4-7 were constructed to evaluate the sub-criteria determined in the main criteria.

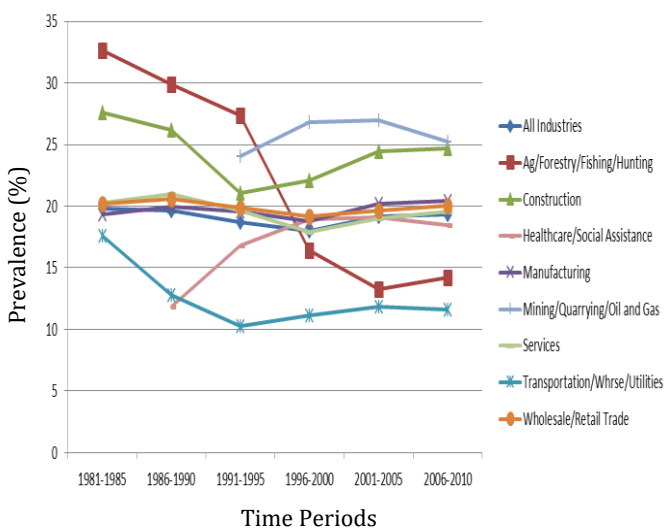


Figure 2. Prevalence Of Hearing Loss According To Different Sectors (Masterson, Deddens, Themann, Bertke and Calvert, 2015).

Considering that the explanations above, three prominent companies were identified (Firm 1, Firm 2, and Firm 3) among PPE manufacturers to select ear protection. Alternatives were evaluated by examining

Table 4

Evaluation Of Sub-criteria According To “Design Principles” Criteria.

Design Principles	A ₁	A ₂	A ₃	Local Priorities	
A ₁	1	5	1/2	0.364	$\lambda_{max}= 3.094$
A ₂	1/5	1	1/4	0.099	CR=0.047
A ₃	2	4	1	0.537	CI= 0.09 ≤ 0.10

Table 5

Evaluation Of Sub-criteria According To “Safety Features” Criteria.

Safety Features	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	Local Priorities	
B ₁	1	1/5	1/3	1/4	0.066	$\lambda_{max}= 4.252$
B ₂	5	1	5	3	0.538	CR=0.084
B ₃	3	1/5	1	1/4	0.116	CI= 0.09 ≤ 0.10
B ₄	4	1/3	4	1	0.279	

Table 6

Evaluation of Sub-criteria According To “Comfort and Efficiency” Criteria.

Comfort and Efficiency	C ₁	C ₂	C ₃	Local Priorities	
C ₁	1	7	4	0.696	$\lambda_{max}= 3.076$
C ₂	1/7	1	1/4	0.075	CR=0.038
C ₃	1/4	4	1	0.229	CI= 0.07 ≤ 0.10

Table 7

Evaluation Of Sub-criteria According To “Customer Support” Criteria.

Customer Support	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	Local Priorities	
D ₁	1	1/7	1/2	1/3	1/3	0.061	
D ₂	7	1	3	2	6	0.453	$\lambda_{max}= 5.416$
D ₃	2	1/3	1	3	4	0.246	CR=0.104
D ₄	3	1/2	1/3	1	2	0.151	CI= 0.09 ≤ 0.10
D ₅	3	1/6	1/4	1/2	1	0.089	

Tables 4-7 show the weight values of every sub-criterion. A3 is the most significant sub-criterion (weight value: 0.537) in Design Principles main criterion; B2 is the most significant sub-criterion (weight value: 0.538) in Safety Features main criterion.

C1 is the most significant sub-criterion (weight value: 0.696) in Comfort and Efficiency main criterion. D2 is the most significant sub-criterion (weight value: 0.453) in the Customer Support main criterion. The comparisons of alternatives were formed based on each sub-criterion. Table 8 displays the expert team's judgments for alternatives.

The AHP result is shown in Figure 3. It is clear that Firm 2, with a score of 0.445, is the most favored, followed by Firm 1 and Firm 3. Firm 2, Firm 1, and Firm 3 have percentage significances of 44.50%, 40.50%, and 15.00%, respectively.

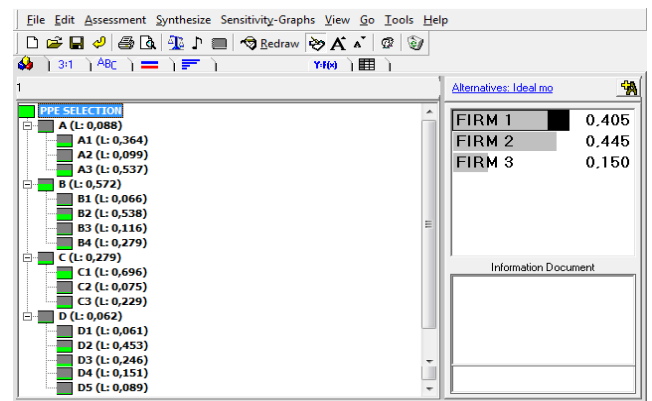


Figure 3. The Outcome Of the Selection Of PPE

Figure 4 depicts the rankings of alternatives concerning the main criteria. If Design Principles main criterion is considered, Firm 3 is preferable to Firm 1 and Firm 2. If Customer Support main criterion is preferred, Firm 1 is preferable to Firm 2 and Firm 3.

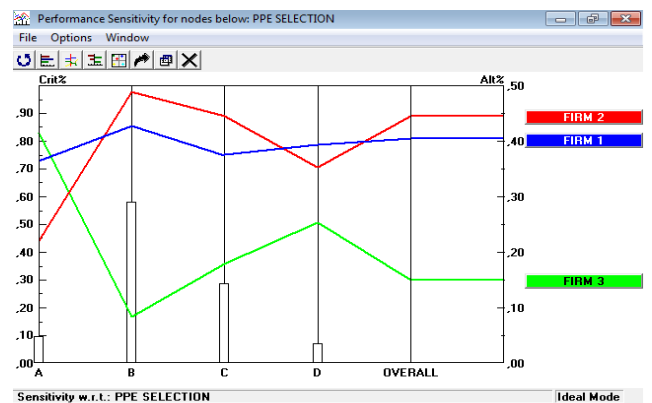


Figure 4. Performance Graph Of PPE Considered

Table 8

Binary Comparison Matrices Based On Subcriteria.

Sub-criteria	FIRMS	FIRM 1	FIRM 2	FIRM 3	Local Priorities	
A ₁	FIRM 1	1	1	5	0.481	$\lambda_{max}= 3.029$ CR=0.015 CI= 0.03 ≤ 0.10
	FIRM 2	1	1	3	0.405	
	FIRM 3	1/5	1/3	1	0.114	
A ₂	FIRM 1	1	3	1/3	0.258	$\lambda_{max}= 3.039$ CR=0.019 CI= 0.04 ≤ 0.10
	FIRM 2	1/3	1	1/5	0.105	
	FIRM 3	3	5	1	0.637	
A ₃	FIRM 1	1	5	1/3	0.279	$\lambda_{max}= 3.065$ CR=0.032 CI= 0.06 ≤ 0.10
	FIRM 2	1/5	1	1/7	0.072	
	FIRM 3	3	7	1	0.649	
B ₁	FIRM 1	1	2	7	0.592	$\lambda_{max}= 3.014$ CR=0.007 CI= 0.01 ≤ 0.10
	FIRM 2	1/2	1	5	0.333	
	FIRM 3	1/7	1/5	1	0.075	
B ₂	FIRM 1	1	1	5	0.455	$\lambda_{max}= 3.000$ CR=0.000 CI= 0.00 ≤ 0.10
	FIRM 2	1	1	5	0.455	
	FIRM 3	1/5	1/5	1	0.091	
B ₃	FIRM 1	1	1	7	0.487	$\lambda_{max}= 3.013$ CR=0.006 CI= 0.01 ≤ 0.10
	FIRM 2	1	1	5	0.435	
	FIRM 3	1/7	1/5	1	0.078	
B ₄	FIRM 1	1	1/3	5	0.279	$\lambda_{max}= 3.065$ CR=0.032 CI= 0.06 ≤ 0.10
	FIRM 2	3	1	7	0.649	
	FIRM 3	1/5	1/7	1	0.072	
C ₁	FIRM 1	1	1	3	0.405	$\lambda_{max}= 3.029$ CR=0.015 CI= 0.03 ≤ 0.10
	FIRM 2	1	1	5	0.481	
	FIRM 3	1/3	1/5	1	0.114	
C ₂	FIRM 1	1	1/3	3	0.243	$\lambda_{max}= 3.007$ CR=0.004 CI= 0.01 ≤ 0.10
	FIRM 2	3	1	7	0.669	
	FIRM 3	1/3	1/7	1	0.088	
C ₃	FIRM 1	1	1	1	0.333	$\lambda_{max}= 3.000$ CR=0.000 CI= 0.00 ≤ 0.10
	FIRM 2	1	1	1	0.333	
	FIRM 3	1	1	1	0.333	
D ₁	FIRM 1	1	5	7	0.731	$\lambda_{max}= 3.065$ CR=0.032 CI= 0.06 ≤ 0.10
	FIRM 2	1/5	1	3	0.188	
	FIRM 3	1/7	1/3	1	0.081	
D ₂	FIRM 1	1	1	1	0.333	$\lambda_{max}= 3.000$ CR=0.000 CI= 0.00 ≤ 0.10
	FIRM 2	1	1	1	0.333	
	FIRM 3	1	1	1	0.333	
D ₃	FIRM 1	1	3	5	0.637	$\lambda_{max}= 3.039$ CR=0.019 CI= 0.04 ≤ 0.10
	FIRM 2	1/3	1	3	0.258	
	FIRM 3	1/5	1/3	1	0.105	
D ₄	FIRM 1	1	1/3	1	0.200	$\lambda_{max}= 3.000$ CR=0.000 CI= 0.00 ≤ 0.10
	FIRM 2	3	1	3	0.600	
	FIRM 3	1	1/3	1	0.200	
D ₅	FIRM 1	1	1	3	0.429	$\lambda_{max}= 3.000$ CR=0.000 CI= 0.00 ≤ 0.10
	FIRM 2	1	1	3	0.429	
	FIRM 3	1/3	1/3	1	0.143	

5. Sensitivity Analysis

Sensitivity analysis is conducted to analyze the flexibility of the final judgment. A better decision can be made by a decision-maker to determine a critical criterion. In other words, the sensitivity of the alternatives depends on the changes in the current weight of a criterion. Considering the subjective nature of the judgment, small variations in the priorities can cause important changes in the last rankings. The coherence of the ranking based on changing criteria weights can be verified (Kursunoglu and Onder, 2015). ExpertChoice® 2000 software can allow the sensitivity analysis of the decision-making problem. The dynamic sensitivity of the main criteria and alternatives are shown in Figures 5-6.

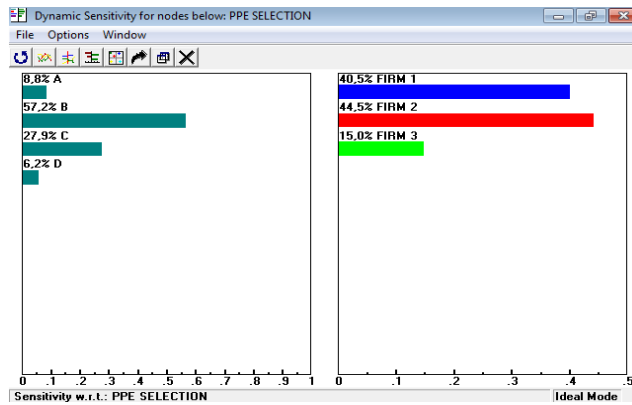


Figure 5. Main Criteria And Dynamic Sensitivity

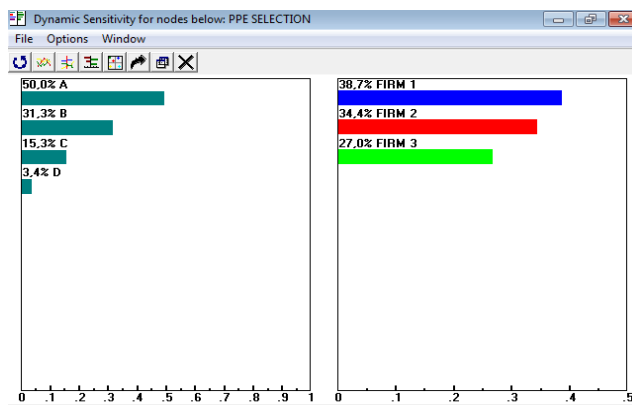


Figure 6. Main Criteria And Dynamic Sensitivity Variations

As can be seen in Figure 5 and Figure 6, when the weight of Design Principles (A) main criterion increased from 8.8% to 50.00%, Safety Features (B) main criterion decreased from 57.2% to 31.3%, and the weight of Comfort and Efficiency (C) main criterion decreased from 27.9% to 15.3%. These changes lead to the

decrease of Firm 2 performance in the model from 44.5% to 34.4%, while Firm 3 is increased from 15.0% to 27.0%. Analyzing these conclusions, it was obtained that Firm 1 is the most preferred, followed by Firm 2 and Firm 3 when the weight of Design Principles (A) main criterion is increased to 50.00%.

6. Conclusions

In this study, the problem of selecting an appropriate PPE was examined. Due to the flexible structure of the AHP method, it can be implemented with diverse criteria and alternatives to select a suitable PPE. The technique is easy to apply by users. A comprehensive set of criteria was determined to compare factors and AHP was used to provide a consistent ranking of alternatives. As a wide-ranging impact on the practical applicability of the suggested method, pair-wise comparison matrices were performed. In the proven AHP method, three alternatives (Firm 1, Firm 2, and Firm 3) were assessed concerning four main criteria and their sub-criteria.

The assessment resulted that the most appropriate PPE is Firm 1. The chosen company is capable of providing enterprises with washable, additional systems in place to notify the user in the event of an emergency, and comfortable to wear adjustable ear muffs. The assessment also resulted that Safety Features main criterion has the highest importance weight in the decision process. This is followed by Comfort and Efficiency, Design Principles, and Customer Support, respectively. Manufacture of appropriate materials sub-criterion in Safety Features main criterion is the most significant factor. Additionally, conformity to body structure in Comfort and Efficiency, proper protection classes for different risk levels in Design Principles, and technical test and performance results to measure the class or level of protection in Customer Support are the most important factors. Decision-makers place more emphasis on Safety Features criteria than the economical condition (cost), which is believed to be the main influential factor in PPE selection. Using an appropriate PPE, the health expense of employers' can be mitigated. The AHP consequences were also examined using sensitivity analyses and it was found that Firm 1 is eligible as the most suitable based on the sensitivity analyses. Firms can reliably select the appropriate PPE for different risks that employees exposed using the AHP method. Different multi-criteria decision making approaches can be applied to the problem.

Contribution of Researchers

Nilufer KURSUNOGLU: Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing - original draft, Writing- review &

editing. Seyhan ONDER: Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing - original draft, Writing-review & editing, Visualization. Mustafa ONDER: Conceptualization, Methodology, Investigation, Visualization, Supervision

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

References

- Akbar-Khanzadeh, F., & Bisesi, M.S. (1995). Comfort of personal protective equipment. *Applied Ergonomics*. 3, 195-198. doi: [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(95\)00017-7](https://doi.org/10.1016/0003-6870(95)00017-7)
- Alpay, S., & Yavuz, M. (2009). Underground mining method selection by decision making tools. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 24, 173-184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2008.07.003>
- Aminbakhsh, S., Gunduz, M., & Sonmez, R. (2013). Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects. *Journal of Safety Research*. 46, 99-105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2013.05.003>
- Amponsah-Tawiah, K., & Mensah, J. (2016). Occupational health and safety and organizational commitment: evidence from the Ghanaian mining industry. *Safety and Health at Work*. 7, 225-230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.01.002>
- Andrade-Rivas, F., & Rother, H.A. (2015). Chemical exposure reduction: Factors impacting on South African herbicide sprayers' personal protective equipment compliance and high risk work practices. *Environmental Research*. 142, 34-45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.05.028>
- ANU, (2011). Australian National University. *Selection and use of personal protective equipment*. pp. 1-7.
- Balkhyour, M.A., Ahmad, I., & Rehan, M. (2018). Assessment of personal protective equipment use and occupational exposures in small industries in Jeddah: Health implications for workers. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 26, 653-659. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.06.011>
- Breaz, R.E., Bologa, O., & Racza, S.G. (2017). Selecting industrial robots for milling applications using AHP. *Procedia Computer Science*. 122, 346-353. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.379>
- Caputo, A.C., Pelagagge, P.M., & Salini, P. (2013). AHP-based methodology for selecting safety devices of industrial machinery. *Safety Science*. 53, 202-218. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.10.006>
- Chan, A.H.S., Kwok, W.Y., & Duffy, V.G. (2004). Using AHP for determining priority in a safety management system. *Industrial Management & Data Systems*. 104, 430-445. doi: <https://doi.org/10.1108/02635570410537516>
- EIGA, (2017). *European Industrial Gases Association Selection of personal protective equipment*. Doc 136/09. pp. 1-15.
- Geng, Z., Li, H., Zhu, Q., & Han, Y. (2018). Production prediction and energy-saving model based on extreme learning machine integrated ISM-AHP: Application in complex chemical processes. *Energy*. 160, 898-909. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.077>
- Janackovic, G., Stojiljkovic, E., & Grozdanovic, M. (2017). Selection of key indicators for the improvement of occupational safety system in electricity distribution companies. *Safety Science*. 125, 103654. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.07.009>
- Kursunoglu, N., & Onder, M. (2015). Selection of an appropriate fan for an underground coal mine using the Analytic Hierarchy Process. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 48, 101-109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.02.005>
- Kursunoglu, S., Ichlasb, Z.T., & Kaya, M. (2017). Leaching method selection for Caldag lateritic nickel ore by the analytic hierarchy process (AHP). *Hydrometallurgy*. 171, 179-184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2017.05.013>
- Li, H., Díaz, H., & Soares, C.G. (2021). A failure analysis of floating offshore wind turbines using AHP-FMEA methodology. *Ocean Engineering*. 234, 109261. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.109261>
- Liu, R., Cheng, W., Yu, Y., & Xu, Q. (2018). Human factors analysis of major coal mine accidents in China based on the HFACS-CM model and AHP method. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 68, 270-279. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2018.08.009>
- Masterson, E.A., Deddens, J.A., Themann, C.L., Bertke, S., & Calvert, G.M. (2015). Trends in worker hearing loss by industry sector, 1981-2010. *American Journal of Industrial Medicine*. 58, 392-401. doi: <https://doi.org/10.1002/ajim.22429>
- Murphy, W.J. (2016). Preventing occupational hearing loss-time for a paradigm shift. *Acoustics Today*. 12, 28-35. doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33660.95365>
- PPER, 2013. Personal Protective Equipment Regulation. (2013, 02 July). Official Gazette. (No: 28695)

- Retrieved from:
<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=18540&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- Oh, H.S., & Uhm, D. (2016). Occupational exposure to infection risk and use of personal protective equipment by emergency medical personnel in the Republic of Korea. *American Journal of Infection Control*. 44, 647-51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2015.12.022>
- Olson, R., Grosshuesch, A., Schmidt, S., Gray, M., & Wipfli, B. (2009). Observational learning and workplace safety: The effects of viewing the collective behavior of multiple social models on the use of personal protective equipment. *Journal of Safety Research*. 40, 383-387. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2009.07.004>
- OSHA, (2004). Occupational safety and health administration. Personal Protective Equipment. 3151-12R. pp. 4-36.
- Saaty, T.L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*. 48, 9-26. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*. 1, 83-86. doi: <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- UOW, (2016). *WHS risk management guidelines*. University of Wollongong p. 18
- Wang, W., Dong, C., Dong, W., Yang, C., Ju, T., Huang, L., & Ren, Z. (2016). The design and implementation of risk assessment model for hazard installations based on AHP-FCE method: A case study of Nansi Lake Basin. *Ecological Informatics*. 36, 162-171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.11.010>
- Yarpuz-Bozdogan, N. (2018). The importance of personal protective equipment in pesticide applications in agriculture. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 4, 1-4. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.02.001>
- Yavuz, M., Iphar, M., & Once, G., 2008. The optimum support design selection by using AHP method for the main haulage road in WLC Tuncbilek colliery. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 23, 111-119. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2007.02.001>