



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 : 2

e-ISSN : 2630 - 5712





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

e-ISSN : 2630 - 5712

ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ

JOURNAL OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE FACULTY
OF ESKİŞEHİR OSMANGAZİ UNIVERSITY

YIL/YEAR : 2022

CİLT/VOLUME : 30

SAYI/ISSUE : 2



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 volacan@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 Nezhik 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>
Analysis of Factors Affecting The Grindability of K-Feldspar in Stirred Ball Mill By Full Factorial Design Karıştırmalı Bilyalı Değirmende K-Feldspatın Öğütülebilirliğini Etkileyen Faktörlerin Tam Faktöriyel Tasarımla Analizi Kemal BİLİR, Halil İPEK	152 - 158
MQTT Tabanlı IOT Sistemine Yapılan Saldırıların Makine Öğrenimi Kullanılarak Tespiti Attacks on The MQTT-Based IOT System Detection Using Machine Learning Ayça Nur KAHYA, Esra Nergis YOLAÇAN	159 - 170
Sidelobe Reduction of Linear Antenna Array By Position-Only Control Using Novel Metaheuristic Optimization Methods Yeni Metasezgisel Optimizasyon Yöntemlerini Kullanarak Yalnızca Konum Kontrolüyle Doğrusal Anten Dizilerinin Yan Demet Seviyelerinin Bastırılması Ali DURMUS, Zafer YILDIRIM	171 - 179
Kesme Hızının Ve Su Muhtevasının Kalıcı Kayma Dayanımına Etkisi Determination of Residual Shear Strengths of Clays By Ring Shear Tests Burak Bahadır ŞAKAR, Hasan SAVAŞ	180 - 189
Ayrık Kosinüs Dönüşümü DC Bileşenleri Ve Çoklu-Adaptif Ölçekleme Faktörleri Kullanılarak Dayanıklı Görüntü Damgalama Robust Image Watermarking Using Discrete Cosine Transform DC Components and Multi-Adaptive Scaling Factors Rifat KURBAN, Hakkı BOZPOLAT	190 - 200
Çanakkale Ayvacic Volkanik Tüfünün Hafif Yapı Malzemesi Üretiminde Agregata Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması Investigation of The Usability As An Aggregate in The Production of Lightweight Building Material of Çanakkale-Ayvacic Volcanic Tuff Seyide KILIÇALTAN, Uğur DEMİR	201 - 210
Baryum ve Magnezyum İçeren Katıların Karbonat Yüklü Çözeltilerle Etkileşimi Interaction of Barium and Magnesium Containing Solids With Carbonate Loaded Solutions İlhan EHSANİ, Arman EHSANİ, Abdullah OBUT	211 - 219
Yolların Yapımı ve Bakım Onarımı İle İlgili Bilgi Sistemi Oluşturulması: Manisa - Saruhanlı Örneği Creating An Information System Regarding to The Construction, Maintenance and Repair of Roads: The Case of Manisa - Saruhanli Murat YAŞA, Tülin ÇETİN	220 - 233
Analysis of The Features For Automatic Classification of Academic Performance Akademik Performansın Otomatik Sınıflandırılması İçin Özniteliklerin Analizi Hakan Alp EREN, Efnan SORA GUNAL	234 - 241
Çok Gevşek Temiz Kumların Statik Sıvılaşması ve Dilatif Davranışına Siltlerin Etkisi Influence of Silts on Very Loose Clean Sand's Static Liquefaction And Dilative Response Sinan GÜRBÜZ, Kamil Bekir AFACAN	242 - 252



Araştırma Makaleleri / Research Articles

Sayfa

- Evaluation of Plate Load Test Results: A Case Study In Ankara/Turkey** 253 – 259
Plaka Yükleme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi: Ankara’da Bir Vaka Analizi
Safa ÇEVİK
- Veri Madenciliği İle Betonarme Konut Binalarında Deprem Kuvveti Analizi** 260 – 269
Earthquake Force Analysis For Reinforcement Residential Buildings With Data Mining
Tarkan KARAÇAY, Tolga AÇIKGÖZ
- Conservation of Traditional Houses And A Case Study on Safety Evaluation By Using Limit Analysis** 270 – 279
Geleneksel Konutlarda Koruma ve Limit Analizi Kullanılarak Güvenlik Değerlendirmesi Üzerine Bir Vaka Çalışması
Z. Sena GÜNEŞ KAYA, Selahattin ERSOY, Kemal Kutgün EYÜPGİLLER
- Polietilen Nanokompozitlerde Nano Tabakalı Bor Nitrid (Bnns) Takviyesinin Biyobozunurluğa Etkisi** 280 – 288
Effect of Nano-Layered Boron Nitride (Bnns) Addition on Biodegradability Properties of Polyethylene Nanocomposites
Zuhal YILMAZ, Nuran AY
- Numerical Investigation of RC Tunnel Segments Subjected To Elevated Temperature Via FEM** 289 – 299
Artan Sıcaklık Etkisindeki Betonarme Tünel Segmentlerinin Sem İle Sayısal Olarak İncelenmesi
Tolga YILMAZ, Uğurhan AKYÜZ
- Alkali Çinko ve Alaşımli Çinko Kaplama Üzerine Çözücü Bazlı Çinko Lamelli Kaplama Uygulaması İle Oluşturulan Çok Katmanlı Kaplamanın Korozyon Önleme Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi** 300 – 308
Investigation of The Effect of Multi-Layer Coating on Corrosion Prevention Performance Formed By The Application of Solvent-Based Zinc Lamel Coating on Alkali Zinc And Alloy Zinc Coating
Ahmet CAN, Levent AKYALÇIN

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE GRINDABILITY OF K-FELDSPAR IN STIRRED BALL MILL BY FULL FACTORIAL DESIGN

Kemal BİLİR^{1*}, Halil İPEK²

¹ Eskisehir Osmangazi University, Mining Engineering Department, Eskisehir, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-6747-6666>

² Eskisehir Osmangazi University, Mining Engineering Department, Eskisehir, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-8099-3003>

Keywords

*K-feldspar
Stirred ball mill
Narrow grain size
Full factorial design*

Abstract

This study's aim is to investigate the wet and dry grindability of K-feldspar in the stirred ball mill. In the evaluation of the grinding process, a two-level and four-factor factorial design was applied and the effects of variables such as ball size, stirrer speed, grinding time, and interstitial filling ratio on the particle size distribution were investigated. Experiment results showed that K-feldspar can be efficiently milled using a stirred ball mill in a narrow particle size range (1-10 microns).

KARIŞTIRMALI BİLYALI DEĞİRMENDE K-FELDSPATIN ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN TAM FAKTÖRİYEL TASARIMLA ANALİZİ

Anahtar Kelimeler

*K-feldspat
Karıştırmalı bilyalı değirmen
Dar tane boyutu
Tam faktöriyel tasarım*

Öz

Bu çalışmanın amacı, karıştırmalı bilyalı değirmende K-feldspatın yaş ve kuru öğütülebilirliğini araştırmaktır. Öğütme işleminin değerlendirilmesinde iki seviyeli ve dört faktörlü faktöriyel tasarım uygulanmış ve bilye boyutu, karıştırıcı hızı, öğütme süresi ve boşluk doldurma oranı gibi değişkenlerin tane boyutu dağılımına etkileri araştırılmıştır. Deney sonuçları, K-feldspatın, karıştırmalı bilyalı değirmen ile dar bir tane boyutu aralığında (1-10 mikron) verimli bir şekilde öğütülebileceğini göstermiştir.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 18.10.2021
Kabul Tarihi : 05.12.2021

Research Article

Submission Date : 18.10.2021
Accepted Date : 05.12.2021

1. Introduction

K-feldspar is a basic raw material used in the porcelain body to form the melter (-75 microns) and glassy phase (-10 microns). It reduces melting temperatures by reacting with raw materials such as kaolin and quartz (Burlison, 2003). As a result, the firing time and temperature of porcelain are reduced. In porcelain production, feldspar and quartz are generally used by wet grinding down below 75 microns with conventional ball mills. One of the most important reasons for grinding potassium feldspar to this size is to enhance its fluxing capability by increasing its surface area. As a result, the fluxing capacity of the material will also

increase by grinding K-feldspar into micro-fine sizes (-10 microns) in stirred ball mill.

Stirred ball mills are more useful in grinding below 75 microns than conventional ball mills because of their easy operation, simple design, low energy consumption, and high grinding rate (Bernhardt, Reinsch, and Husemann, 1999; Choi, Lee, Lee, Chung, and Choi, 2007; Dowdle, 1994; Goodson, Larson, and Sheehan, 1985; Just and Yang, 1997; Padden and Reed, 1993; Szegvari and Yang, 1995). Due to the use of small grinding media with high-stress densities, the amount of energy produced per unit time and volume in agitated ball mills is quite high, resulting in an effective size reduction of

* 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/>).

the products. As a result, stirred ball mills have become increasingly popular in industries such as mining, ceramics and paint in recent years for micro-fine and ultra-fine (-1 micron) grinding (Becker, 1987; Ma, Hu, Zhang, and Pan, 1998; Reed, 1995; Szegvari, 1994; Szegvari and Yang, 1989).

These mills use a shaft with pins or discs to stir the grinding media. In addition to wet and dry grinding, the stirred ball mills can be used vertical or horizontal oriented. Depending on the dimensions in the feed size distribution, the grinding media diameters can also change from a few millimeters to several microns. Depending on the needs of the industry, grinding media that are made of ceramic, carbon steel, stainless steel, and alumina can be used.

Mill efficiency can be improved by adjusting the variable levels and providing proper grinding conditions. Therefore, it is crucial to understand and control the grinding process. However, testing all possible parameters at every level is time-consuming. Hence, a well-structured experimental design is needed to get results in a shorter time. Today, the full factorial designs are used successfully in many fields to evaluate the process and plan experiments correctly (Dehghan, Noaparast, Kolahdoozan, and Mousavi, 2008; Martínez-L and Ortiz, 2003). The full factorial designs contain combinations of all independent variables used in the evaluation. The independent variables and interactions that influence the dependent variable should be investigated thoroughly in this case.

In the context of the study, a two-level and four-factor factorial design was applied and the effects of variables such as ball size, stirrer speed, grinding time, and interstitial filling ratio on the particle size distribution were investigated. The variables influencing the wet and dry grindability of K-feldspar in the stirred ball mill were also analyzed.

2. Experimental

2.1. Equipment

The HD-01 model laboratory scale vertical stirred ball mill, used in both dry and wet milling modes, was developed by Union Process (USA) (Figure 1). This model ball mill is designed for use at stirrer speeds ranging from 100 to 600 rpm. The HD-01 model ball mills use alumina balls in diameters ranging from 3 to 6 mm as grinding media. The typical feed size is usually smaller than 100 microns. In this case, milled material size is most likely to be between 1 and 10 microns. The HD-01 series mills have water-cooled jackets for cooling (or heating) the grinding tank. The grinding system has data acquisition software developed by the manufacturer company. The software monitors the parameters used in the experiments and records the observed experimental data in an Excel worksheet for future references.

The grinding system consists of a grinding tank and a rotating shaft in the center. A constant 6.35 mm gap is left between the lower tip of the shaft and the tank base. The high-speed rotating shaft stirs the material in the tank with the grinding media. When the stirrer starts to rotate, the experimental parameters begin to be recorded with online data acquisition software. The high-speed stirring process causes the grinding media to exert both shearing and impact forces on the material. The ultimate result of the grinding process is an extremely fine-grained product with narrow particle size distributions, measured in micron or micron fractions. It is also possible to add chemicals or additives to the mill at any time during milling or to take samples from the mill.



Figure 1. The Model HD-01 Stirred Ball Mill

2.2. Material and Method

The -75 micron-sized K-feldspar sample used as the feeding material in the experiments was provided by Kütahya Porcelain Inc. A pycnometer was used to determine the density of the sample and its average density was calculated as 2.65 g/cm³ following five measurements.

Two different sizes of alumina balls were used in the grinding experiments. Ball loading into the mill was determined as 40% of the mill tank's effective volume. The necessary calculations for the mill charge were calculated using Equations 1, 2, and 3 (Austin, Klimpel, and Luckie, 1984; Celik, 1988; Ipek, Ucbas, and Hosten, 2005). Table 1 lists the experimental conditions.

$$J = \left(\frac{\text{Ball mass/ Ball density}}{\text{Mill volume}} \right) \cdot \left(\frac{1}{0.6} \right) \quad (1)$$

$$f_c = \left(\frac{\text{Powder mass/Powder density}}{\text{Mill volume}} \right) \cdot \left(\frac{1}{0.6} \right) \quad (2)$$

$$U = \frac{\text{Fractional powder filling}}{0.4 \cdot \text{Fractional ball filling}} \quad (3)$$

where J is fractional ball filling, f_c is fractional powder filling and U is interstitial filling ratio.

Table 1

Stirred Mill Characteristics and Experimental Settings	
Tank diameter, cm	8
Tank length, cm	12
Ball total mass, g	552
Ball density, g/cm ³	3.9
The fractional ball filling	0.22
Sample mass, g	for U=0.75 112.5
	for U=1.00 150
Slurry concentration (weight), %	70

After each experiment, all the material taken from the mill was sieved, and the ground sample and grinding media were separated from each other. The particle size distributions of the sample were measured by The Malvern Mastersizer 2000 Particle Size Analyzer.

Experiments were performed by 2⁴ full factorial designs. The main effects and interactions were calculated using the Yates algorithm. Results are presented according to this methodology.

If the main effects and interactions of the variables to be selected on a dependent variable are to be examined, the full factorial design can be used. The main effect is defined as the effects of changes in the levels of an independent variable on a dependent variable. In such designs, factors are changed together and all possible combinations of the level of the factors are investigated (Dowdle, 1994).

As the factors number (k) in the full factorial designs increase, the number of effects that can be estimated also increases. For instance, 2⁴ full factorial designs have 16 factor-level combinations. There are four main effects in a 16-experiment, six two-factor interactions, four three-factor interactions, and one four-factor interaction. In most cases, the principle of the sparsity of effects applies. The main effects and low-order interactions typically dominate the system. Interactions with three or more factors are usually negligible. When the k value is greater than or equal to 4, experiments can be performed one-repeat, and it is common practice to use higher-order interactions in estimating experimental error (Mansouri, Khonsari, Holgerson, and Aung, 2002; Montgomery, 2009; Tamhane, 2009).

Particle size (-10 microns) was chosen as a dependent (response) variable in the factorial design. Experiments shown in Yates notation pattern were performed in random order. Table 2 shows the independent variables and their levels used in the experiments. In the design stages, the high-level was denoted by a '+' while the low-level was denoted by a '-'.'The authors declare that research and publication ethics were followed in this study.

Table 2

The Independent Variables and Levels Used in The Design

Variables	Levels	
	(-)	(+)
Ball size, mm	3	5
Stirrer speed, rpm	300	600
Grinding time, minute	30	150
Interstitial filling ratio, %	0.75	1

3. Results and Discussion

This study investigated the wet and dry grindability of K-Feldspar as well as the main effects and interactions of the four variables presented in Table 2 on particle size (-10 micron).

Yates algorithm was used to determine the main effects and their interactions, and ANOVA was used to analyze how the independent variables interact with each other and the effects of these interactions on the dependent variable.

The design matrix representation for the four factors (2⁴) factorial design is given in Table 3. Table 4, showing the combined data of the Yates algorithm and the ANOVA table, was used to help determine the importance of factors in dry grinding experiments. These two tables are presented together because all data can be seen easily in a single table and create ease of operation. Table 5 is used to highlight the results of wet milling experiments and the importance of factors.

ANOVA uses the F statistic. The F test compares the amount of systematic variance in the data with the unsystematic variance. The calculated F value (F_c) is decided by comparing it with the critical value (table value) determined according to certain confidence levels (α) and degree of freedom. Commonly used confidence levels are 99% ($\alpha = 0.01$), 95% ($\alpha = 0.05$) and 90% ($\alpha = 0.10$). Unless otherwise stated in engineering calculations, a 95% confidence level is mostly preferred.

In Tables (4 and 5) where the dry and wet grinding test results are given, the degrees of freedom ($d_f=1$) of the variables and their interactions have the same value. In the same tables, the degrees of freedom of the error ($d_f=3$) also have the same value. The confidence level of 95% and degrees of freedom were taken as 1 and 3,

respectively, to find the Table value corresponding to each grinding condition. In this case, the value from the relevant F table is compared with the F_c value for the decision. If the F_c value is greater than the F_T value, the

decision is effective. Conversely, if the calculated F value (F_c) is less than the table value (F_T), then the decision is not important.

Table 3

Design Matrix Representation for Four-Factor (2^4) Factorial Design (Bilir and Ipek, 2011)

Yates Order	Effects				Levels			
	Ball size	Stirrer speed	Grinding time	Interstitial filling ratio	Ball size	Stirrer speed	Grinding time	Interstitial filling ratio
(1)	-	-	-	-	3	300	30	0.75
a	+	-	-	-	5	300	30	0.75
b	-	+	-	-	3	600	30	0.75
ab	+	+	-	-	5	600	30	0.75
c	-	-	+	-	3	300	150	0.75
ac	+	-	+	-	5	300	150	0.75
bc	-	+	+	-	3	600	150	0.75
abc	+	+	+	-	5	600	150	0.75
d	-	-	-	+	3	300	30	1
ad	+	-	-	+	5	300	30	1
bd	-	+	-	+	3	600	30	1
abd	+	+	-	+	5	600	30	1
cd	-	-	+	+	3	300	150	1
acd	+	-	+	+	5	300	150	1
bcd	-	+	+	+	3	600	150	1
abcd	+	+	+	+	5	600	150	1

Table 4

ANOVA Table for Dry Grinding (Bilir and Ipek, 2011)

Yates Order	-10 μ m (%)	Total Effect	Sum of Square	Degrees of Freedom	Mean Square	F_c	F_T	Decision			
(1)	45.0	84.5	222.4	536.1	1038.1	---	---	---			
a	39.5	137.9	313.7	502.0	-25.7	41.3	1	41.3	0.71	10.13	NS
b	72.0	165.5	189.0	-7.1	106.9	714.2	1	714.2	12.34	10.13	Effective
ab	65.9	148.2	313.0	-18.6	-0.9	0.1	1	0.1	0.00	10.13	NS
c	89.1	75.9	-11.6	36.1	215.3	2897.1	1	2897.1	50.05	10.13	Effective
ac	76.4	113.1	4.5	70.8	1.9	0.2	1	0.2	0.00	10.13	NS
bc	65.5	139.7	-2.2	29.3	-74.3	345.0	1	345.0	5.96	10.13	NS
abc*	82.7	173.3	-16.4	-30.2	30.7	58.9	1	58.9	1.02	10.13	
d	34.7	-5.5	53.4	91.3	-34.1	72.7	1	72.7	1.26	10.13	NS
ad	41.2	-6.1	-17.3	124.0	-11.5	8.3	1	8.3	0.14	10.13	NS
bd	60.9	-12.7	37.2	16.1	34.7	75.3	1	75.3	1.30	10.13	NS
abd	52.2	17.2	33.6	-14.2	-59.5	221.3	1	221.3	3.82	10.13	NS
cd	70.2	6.5	-0.6	-70.7	32.7	66.8	1	66.8	1.15	10.13	NS
acd*	69.5	-8.7	29.9	-3.6	-30.3	57.4	1	57.4	0.99	10.13	
bcd	94.5	-0.7	-15.2	30.5	67.1	281.4	1	281.4	4.86	10.13	NS
abcd*	78.8	-15.7	-15.0	0.2	-30.3	57.4	1	57.4	0.99	10.13	
* High-level interactions used in error prediction			Error	173.7	3	57.9					
NS : Not significant			Total	4893.2	15						

When Figure 2 and Table 4, which show the dry grinding experiments, are evaluated, it is seen that the effect of grinding time and stirrer speed on grinding efficiency (according to particle size) is significant. The total effect values of these two main variables on grain size (-10 microns) are 106.9 and 215.3, respectively. According to

the total effect values, the most important variable in dry grinding conditions is grinding time. Grinding time has powerful influences on the grinding efficiency, depending on the material property and the value of the specific surface area. Increasing the grinding time results in the formation of very fine-sized products and the increase of the specific surface area value. It should

be considered that the product, which becomes very fine during long grinding times, will create a cushioning effect that slows down the breakage rate (Cayirli and Gokcen, 2021; Cuhadaroglu and Kara, 2015; Samanli, Cuhadaroglu, Ucbas, and Ipek, 2010). Ball size and interstitial filling ratio are among the variables that affect grinding efficiency. In general, increasing the ball size and decreasing the interstitial filling ratio increase the ground product's surface area (Altun, Benzer, and Enderle, 2013). However, depending on the total effect values in the ANOVA table, it can be interpreted that the effects of these two variables on the grinding efficiency are less important than the others. These variables' total effect values are -25.7 and -34.1, respectively.

While interpreting, variance analysis table decisions should be taken into consideration. The numerical

magnitude and sign of the total effect values of the effective variables are checked. According to Table 4, the sign of both variables is '+'. This means that when the level value of the relevant variable is changed from the low-level value to the high-level value, the effect on the dependent variable is increasing. If the sign of the relevant variable is '-', it means that when the level value of the variable is changed from a low-level value to a high-level value, its effect on the dependent variable is reduced.

In dry grinding experiments, for the particle size distribution to be within the targeted size range, the ball size and interstitial filling ratio should be at low levels, and the grinding time and stirrer speed should be at high levels.

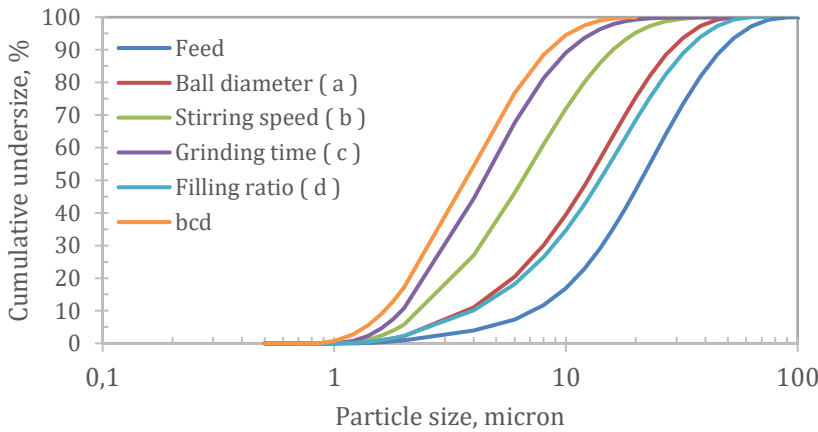


Figure 2. K-Feldspar's Dry Grinding Experiments Results

Table 5

ANOVA Table for Wet Grinding (Bilir and Ipek, 2011)

Yates Order	-10 µm (%)				Total Effect	Sum of Square	Degrees of Freedom	Mean Square	F _C	F _T	Decision
(1)	39.2	88.2	239.0	615.6	1127.4	---	---	---	---	---	---
a	49.0	150.8	376.6	511.8	93.4	545.2	1	545.2	37.68	10.13	Effective
b	70.0	179.6	182.2	29.8	185.0	2139.1	1	2139.1	147.84	10.13	Effective
ab	80.8	197.0	329.6	63.6	-27.4	46.9	1	46.9	3.24	10.13	NS
c	83.7	68.9	20.6	80.0	285.0	5076.6	1	5076.6	350.85	10.13	Effective
ac	95.9	113.3	9.2	105.0	-13.4	11.2	1	11.2	0.78	10.13	NS
bc	100.0	134.5	32.8	-14.2	-29.0	52.6	1	52.6	3.63	10.13	NS
abc	97.0	195.1	30.8	-13.2	-57.0	203.1	1	203.1	14.03	10.13	Effective
d	29.7	9.8	62.6	137.6	-103.8	673.4	1	673.4	46.54	10.13	Effective
ad	39.2	10.8	17.4	147.4	33.8	71.4	1	71.4	4.93	10.13	NS
bd	45.0	12.2	44.4	-11.4	25.0	39.1	1	39.1	2.70	10.13	NS
abd*	68.3	-3.0	60.6	-2.0	1.0	0.1	1	0.1	0.00	10.13	
cd	52.8	9.5	1.0	-45.2	9.8	6.0	1	6.0	0.41	10.13	NS
acd*	81.7	23.3	-15.2	16.2	9.4	5.5	1	5.5	0.38	10.13	
bcd	96.6	28.9	13.8	-16.2	61.4	235.6	1	235.6	16.28	10.13	Effective
abcd*	98.5	1.9	-27.0	-40.8	-24.6	37.8	1	37.8	2.61	10.13	
* High-level interactions used in error prediction					Error	43.4	3	14.5			
NS : Not significant					Total	9110.2	15				

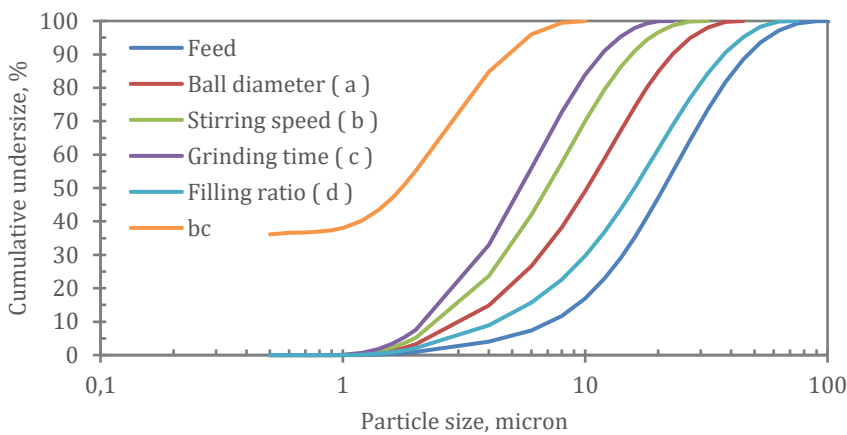


Figure 3. K-Feldspar's Wet Grinding Experiments Results

When Figure 3 and Table 5 showing wet grinding experiments are evaluated, it is seen that the effect of all independent variables subject to the design on grinding efficiency is significant. The total effect values of the four main variables on the grain size (-10 micron) are 93.4, 185.0, 285.0, and -103.8, respectively. According to the total effect values, the most important variable in wet grinding experiments is the grinding time. The remaining variables, in order of importance, are as follows: stirrer speed, interstitial filling ratio, and ball size. According to the ANOVA table, stirrer speed and ball size have '+' sign, while interstitial filling ratio has '-' sign.

In wet grinding tests, for the particle size distribution to be within the targeted size range, the ball size, stirrer speed, and grinding time should be at high levels, and the interstitial filling ratio should be at a low level.

4. Conclusions

The effects of variables such as grinding time and stirrer speed in dry grinding and ball size, stirrer speed, grinding time, and interstitial filling ratio in wet grinding were more pronounced when compared to variables such as interstitial filling ratio and ball size in dry grinding. In dry grinding, increasing the grinding time causes the formation of very fine-sized products and a decrease in grinding efficiency. The finer particles formed by the long grinding times slow down the breaking rate of the product with its cushioning effect. Furthermore, grinding may slow down at high interstitial filling ratios because increasing material amount reduces the ball-particle contact number. Consequently, the influence of these two variables on the particle size distribution is less in dry milling for this reason.

Considering all experiments in the 2^4 full factorial experimental design, it has been shown that the stirred

ball mill can efficiently grind potassium feldspar to the targeted particle size distribution (1-10 microns range).

Acknowledgements

This study was supported by Eskisehir Osmangazi University Scientific Research Projects Coordination Unit within the scope of project no 201015018.

Contribution of Researchers

Kemal BILIR contributed to scientific publication research, preparation of samples, performing experiments and analyzes, the development and writing the article, discussion of results, and project management. Halil IPEK contributed to the development, writing, and review of the article, evaluation of the results and, project consultancy.

Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

References

- Altun, O., Benzer, H., & Enderle, U. (2013). Effects of operating parameters on the efficiency of dry stirred milling. *Minerals Engineering*, 43-44, 58-66. doi: 10.1016/j.mineng.2012.08.003
- Austin, L., Klimpel, R., & Luckie, P. (1984). Process engineering of size reduction: Ball milling, soc. *Min. Eng. AIME, New York, NY*, 112-113.
- Becker, J. E. (1987). Attrition mill fine grinding of advanced ceramic powders. *INTERCERAM Interceram*, 36(6), 55.

- Bernhardt, C., Reinsch, E., & Husemann, K. (1999). The influence of suspension properties on ultra-fine grinding in stirred ball mills. *Powder Technology*, 105(1-3), 357-361. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-5910\(99\)00159-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-5910(99)00159-X)
- Bilir, K., & Ipek, H. (2011). *Micro-fine grinding of potassium feldspar using stirred ball mill*. Paper presented at the Proceedings of XIV Balkan Mineral Processing Congress, Tuzla-Bosnia and Herzegovina.
- Burleson, M. (2003). *The ceramic glaze handbook: Materials, techniques, formulas*: Lark Books.
- Cayirli, S., & Gokcen, H. S. (2021). The influence of stirred mill orientation on calcite grinding. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 38(3), 1551-1560.
- Celik, M. S. (1988). Acceleration of breakage rates of anthracite during grinding in a ball mill. *Powder technology*, 54(4), 227-233. doi: 10.1016/0032-5910(88)80052-4
- Choi, H., Lee, W., Lee, J., Chung, H., & Choi, W. S. (2007). Ultra-fine grinding of inorganic powders by stirred ball mill: Effect of process parameters on the particle size distribution of ground products and grinding energy efficiency. *Metals and Materials International*, 13(4), 353-358. doi: 10.1007/bf03027893
- Cuhadaroglu, A. D., & Kara, E. (2015). The investigation of grindability of refractory wastes in their recycling. *Refractories and Industrial Ceramics*, 56(3), 236-244.
- Dehghan, R., Noaparast, M., Kolahdoozan, M., & Mousavi, S. M. (2008). Statistical evaluation and optimization of factors affecting the leaching performance of a sphalerite concentrate. *International Journal of Mineral Processing*, 89(1-4), 9-16. doi: 10.1016/j.minpro.2008.07.003
- Dowdle, H. J. (1994). *Grinding glazes: A comparison of milling methods*. Paper presented at the CERAMIC INDUSTRY.
- Goodson, R., Larson, F., & Sheehan, L. (1985). Energy input monitoring during attritor milling. *Int. J. Refract. Hard Met.*, 4(2), 70-76.
- Ipek, H., Ucbas, Y., & Hosten, C. (2005). Ternary-mixture grinding of ceramic raw materials. *Minerals Engineering*, 18(1), 45-49. doi: 10.1016/j.mineng.2004.05.006
- Just, A., & Yang, M. (1997). *Attrition dry milling in continuous and batch modes*. Paper presented at the The Powder and Bulk Solids Conference/Exhibition, Chicago, IL.
- Ma, Z. H., Hu, S. A., Zhang, S. M., & Pan, X. Z. (1998). Breakage behavior of quartz in a laboratory stirred ball mill. *Powder technology*, 100(1), 69-73. doi: 10.1016/S0032-5910(98)00054-0
- Mansouri, M., Khonsari, M. M., Holgerson, M. H., & Aung, W. (2002). Application of analysis of variance to wet clutch engagement. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J-Journal of Engineering Tribology*, 216(J3), 117-125. doi: 10.1243/1350650021543942
- Martínez-L, A., & Ortiz, J. (2003). Study of celestite flotation efficiency using sodium dodecyl sulfonate collector: Factorial experiment and statistical analysis of data. *International Journal of Mineral Processing*, 70(1-4), 83-97.
- Montgomery, D., C. (2009). Introduction to statistical quality control. In (Sixth Edition ed.): John Wiley & Sons, Inc.
- Padden, S. A., & Reed, J. S. (1993). Grinding kinetics and media wear during attrition milling. *American Ceramic Society Bulletin*, 72(3), 101-&. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:A1993KR24500008
- Reed, J. S. (1995). Principles of ceramics processing. In (pp. 313-337): Wiley.
- Samanli, S., Cuhadaroglu, D., Ucbas, Y., & Ipek, H. (2010). Investigation of breakage behavior of coal in a laboratory-scale stirred media mill. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 30(1), 20-31. doi: 10.1080/19392691003776418
- Szegvari, A. (1994). The fine grinding of ceramics with attritors. *Interceram*, 43(2), 97-98.
- Szegvari, A., & Yang, M. (1989). Fine grinding of high-value-added industrial minerals by attrition milling. *Les Mineraux Industriels Materiaux des Annees*, 90.
- Szegvari, A., & Yang, M. (1995). *Versatility of attrition milling (wet or dry process; batch or continuous mode)*. Paper presented at the Seminar on Powder Production by Fine Grinding, The Pennsylvania State Univ.
- Tamhane, A. C. (2009). Two-level factorial experiments. In *Statistical analysis of designed experiments* (pp. 256-299): John Wiley & Sons, Inc.

MQTT TABANLI IOT SİSTEMİNE YAPILAN SALDIRILARIN MAKİNE ÖĞRENİMİ KULLANILARAK TESPİTİ

Ayça Nur KAHYA^{1*}, Esra Nergis YOLAÇAN²

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-6950-4421>

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-0008-1037>

Anahtar Kelimeler	Öz
<p>ESP8266 Wifi Modülü MQTT Protokol MQTTset Veri Kümesi Saldırı Tespiti Makine Öğrenimi</p>	<p>Günümüzde cihazların neredeyse tümü internete bağlanma potansiyeli taşımaktadır. Bu nedenle IoT cihazların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. İnternete bağlı cihazların büyük bir kısmı siber saldırılara karşı savunmasız olmaktadır. Çok sayıda cihazın bağlı olduğu ağlarda saldırılar, ağ ve cihazların güvenliği için kritik bir konudur. Yüksek başarı oranları sayesinde makine öğrenmesi yaklaşımları, IoT güvenliğini etkileyen saldırıların tespit edilmesinde ön plana çıktığı görülmektedir. Bu çalışmada, IoT platformunda en sık kullanılan protokollerden biri olan MQTT protokolüne gerçekleşen saldırıların tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, öncelikle literatürdeki çalışmalar incelenerek, saldırı tipleri belirlenmiş ve gerekli test ortamı oluşturulmuştur. Ardından MQTT protokolünü kullanan ağa, siber saldırılar uygulanarak makine öğrenimi algoritmaları ile saldırı tespitinde performansları test edilerek değerlendirilmiştir. Sunulan çalışmada, gerçekleştirilen veri kümesi iyileştirmesinin MQTT saldırılarının tespitinde başarı oranının artmasına katkı sağladığı görülmüştür.</p>

ATTACKS ON THE MQTT-BASED IOT SYSTEM DETECTION USING MACHINE LEARNING

Keywords	Abstract
<p>ESP8266 Wifi Module MQTT Protocol MQTTset Dataset Intrusion Detection Machine Learning</p>	<p>Almost all devices today have the potential to connect to the internet. Therefore, the use of IoT devices is increasing day by day. Most of the devices connected to the internet are vulnerable to cyber-attacks. In networks where a large number of devices are connected, attacks are critical to the security of the network and devices. Due to high success rates, machine learning approaches appear to be at the forefront of detecting attacks affecting IoT security. In this study, it was aimed to detect attacks on the MQTT protocol, which is one of the most commonly used protocols on the IoT platform. For this purpose, first of all, studies in the literature have been examined, attack types have been determined and the necessary test environment has been created. Then, cyber-attacks were applied to the network using the MQTT protocol and their performance in Intrusion Detection was tested and evaluated with machine learning algorithms. In the presented study, it was shown that realizable dataset improvement contributed to increased success rate in detection of MQTT attacks.</p>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 27.10.2021

: 03.02.2022

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 27.10.2021

: 03.02.2022

* Sorumlu yazar; e-posta : aycanurkahya@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

İçinde bulunduğumuz teknoloji çağında, internet kullanımı ve internete bağlı cihazların sayısı sürekli artmaktadır. Bu küresel ağ kullanılarak veriler yoğun bir şekilde paylaşılabilir, depolanabilir ve birbirleriyle etkileşim sağlamaktadır. İnternete olan ihtiyaç arttıkça çeşitli tehditler, güvenlik açıkları ve saldırılar ortaya çıkmakta ve ağ güvenliğinin sağlanması bir zorunluluk haline gelmektedir (Zhang, Li ve Wang, 2019).

Son yıllarda, ağ altyapılarında ve akıllı cihazlarda sağlanan gelişmeler ile bu cihazların genişleyen kullanılabilirliği, Nesnelerin İnterneti (IoT) kavramını oluşturmuştur. Birçok farklı cihazın birbiri ile iletişim sağladığı bu ağları, günümüzde endüstriyel alanda olduğu kadar ev sistemleri ile günlük hayatımızın içinde de yer almaktadır. Ancak mevcut IoT cihazlarının temel güvenlik mekanizmalarından yoksun olması ve IoT protokollerindeki eksiklikler güvenlik açıkları oluşturmaktadır (Vaccari, Chiola, Aiello, Mongelli ve Cambiaso, 2020). Bu sistemlerdeki zayıflıklardan faydalanan siber suçlular, sunuculardan bulut depolamaya kadar birçok noktada yer alan bilgilerden yararlanmak için çeşitli saldırılar gerçekleştirmektedirler. Güvenliği oldukça kritik olan IoT sistemlerin siber saldırılardan etkilenmemesi ve verilerin korunması amacıyla bu saldırıların tespit edilmesi için makine öğrenmesi ve yapay zekâ algoritmaları kullanılmaktadır. Siber güvenlik kapsamında saldırı tespitinde birçok veri kümesi bulunmaktadır. Fakat bu veri kümeleri IoT ortamlarına içerdiği nitelikler sebebiyle nadiren uygundur. Açık kaynaklı olan MQTTSet veri kümesi IoT uygulamalarında kullanıldığı bu veri kümesine katkı sağlayacak nitelikler eklenerek literatüre katkı olması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, IoT sistemlerde yaygın olarak kullanılan MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protokolü ile akıllı ev ağındaki cihazların iletişimi sağlanmış ve DoS, MITM, SlowITe ve Kaba Kuvvet saldırıları gerçekleştirilerek MQTTset veri kümesi genişletilmiştir. Bu kapsamda, açık kaynak teknolojileri kullanılarak MQTT protokolüne yapılan saldırıları için veri örnekleri sayı ve çeşit olarak artırılarak literatüre katkı sağlanmıştır. IoT uygulamalarında kullanılan MQTTset veri kümesine doğru tespit performansının artmasına katkı sağlayacak nitelikler eklenmiştir. Böylece, gelecekte araştırmacılar için bir bakış açısı kazandırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın 2. Bölümünde literatür incelemesi sunulmuştur. 3. Bölümde önerilen yöntemin metodolojisi ve uygulamada kullanılan araçlara yer verilmiştir. 4. Bölümde bulgular ve uygulama hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. 5. Bölümde ise elde edilen sonuçlar ve gelecekteki çalışmalar için öneriler yer almaktadır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

IoT sistemlerinde siber tehditlerden korunmak için alınacak önlemler ve saldırı tespit sistemleri konuları sürekli olarak saldırı tehditlerinin ortaya çıkması sebebiyle oldukça geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu bölümde IoT sistemlere yapılan saldırıların tespiti, veri kümeleri, makine öğrenmesi ve yapay zekâ konularını içeren çalışmalar incelenmiştir.

Öznitelik tabanlı şifreleme kullanarak mesaj aktarımlarının güvenliğinin sağlandığı çalışmada CloudMQTT adlı bulut tabanlı aracı kullanmışlardır (Gupta, Khera ve Turk, 2021). Sensörler ile kurulan ağda, gerekli bilgiler toplanır ve ona entegre edilmiş Wi-Fi modülü, verilere erişmek, ayrıştırmak ve uygun aboneye göndermek için CloudMQTT aracısına yüklemektedir. NodeMCU, tüm ağın yayın yaptığı tüm konulara abone olmuştur. KP-ABE şemaları erişim politikalarını belirler ve seçilen özelliklere göre şifreleri hesaplamaktadır. IoT projelerinde erişim politikaları sıklıkla tercih edilmektedir. Şifreleme yöntemleri ile saldırılar için önlem alınsa da saldırı tespit sistemlerinde makine öğrenimi uygulamalarının kapsamı her geçen gün artmaktadır. Saldırı tespit sistemlerinin test edilmesi için KDD CUP 99 veri kümesi geliştirilmiştir. Shalaginov, Semeniuta ve Alazab (2019) sundukları çalışmada yazarlar KDD CUP 99 veri kümesi kullanılarak, Orange Pi Zero ve Arduino Uno'nun YSA (Yapay Sinir Ağları) eğitimi sırasında güç tüketimlerini karşılaştırmışlardır. KDD CUP 99 veri kümesinin kullanıldığı diğer çalışmada veri ön işleme ile ayrıştırılarak eğitim ve test veri kümelerine bölünmüştür. Agrawal, Agrawal ve Yadav (2020) tarafından sınıflandırma ve saldırı test işlemlerinden oluşan bir çalışma gerçekleştirmiştir. WEKA sınıflandırıcı Bayes Net, Naive Bayes, J48 ve Random Forest üzerinde testleri gerçekleştirdiler. IoT izleri ve MQTT niteliklerini içermeyen ve bu yönden KDD CUP 99 veri kümesi ile benzerlik gösteren diğer veri kümesi NSL-KDD'dir. Karande ve Joshi (2021) tarafından sunulan çalışmada trafiğe dayalı olarak önerilen yöntemin saldırı tespitinin doğruluğunu değerlendirdiler. Ayrıca sistem performansı ve veri kümesinin analizlerini içeren çalışmalar gerçekleştirdiler. Oral ve Çakır (2017) tarafından nesnelerin interneti hakkında bilgiler vermişlerdir. Elde ettikleri bilgiler ışığında örnek bir prototip uygulama gerçekleştirdiler. Gerçekleştirdikleri uygulamada NodeMCU modülü ve nem sensörü kullandılar. Sensörlerin MQTT protokolü ile haberleşmesini sağladılar. MQTT Dash uygulamasını mobil cihaza kurarak sıcaklık ve nem verilerini anlık olarak takip edilmesini sağladılar. Mısır ve Gökrem (2020) tarafından gerçekleştirdikleri uygulama ile MQTT protokolü, haberleşme hiyerarsisi, mesaj iletim metotları hakkında detaylı açıklamalarda bulundular. Yapmış oldukları uygulamada ESP8266 modülü, Raspberry Pi Zero , Wemos NodeMCU V3 Lolin kit, ve

CC3200 Launch Pad kitini kullandılar. MQTT arabulucusu olan Mosquito kullanarak yayımcılar ve aboneler arasında doğrudan veri alışverişini gerçekleştirdiler. İstemci olarak ise MQTT Paho kullanarak farklı seviyelerdeki konularla veri paylaşımını bir ağ kurarak gösterdiler.

IoT izleri barındıran veri kümeleri için saldırı tespit sistemleri, veri kümelerinin karşılaştırılması ve sistem performanslarının analiz edilmesi konularında yazarlar birçok çalışma yapmıştır. IoT saldırı tespit sistemleri, performans iyileştirme modelleri, veri kümelerinin detaylı açıklaması ve saldırı tespit sistemi optimizasyonu hakkında derinlemesine bilgiler verilmiştir (Khraisat ve Alazab, 2021). IoT ağlarında izinsiz giriş tespit sistemi için iki seviyeli bir anormal aktivite algılama modeli önerdikleri çalışmada Random Forest sınıflandırıcı ve IoT Botnet veri kümesini kullanmışlardır. Yapay Sinir Ağları, kaynak kullanımını iyileştirmek ve karmaşıklığını azaltmak için kullanılan yöntemdir. YSA yöntemleri ile azaltılmış veri kümesinde, saldırının tespitinde tahmin yüzdesi daha yüksek olduğu saptanmıştır (Manzoor ve Kumar, 2017).

YSA (Yapay Sinir Ağları) algoritmalarının eğitilmesi ile IoT sisteminde gönderilen verilerin geçerli ve geçersiz olup olmadığını tespit etmek için yaptıkları çalışmada başarılı sonuçlar elde etmiştir. Bununla birlikte, çeşitli veri kurcalama saldırıları içeren çeşitli ve zenginleştirilmiş veri kümeleri, pratik ayarlarda yüksek doğruluğu koruyup koruyamayacağını veya diğer gelişmiş öğrenme algoritmalarının gerekli olup olmadığını doğrulamak için YSA'yı eğitmek ve test etmek için kullanmışlardır (Canedo ve Skjellum, 2016).

MQTT niteliklerini barındıran veri kümeleri kullanılarak makine öğrenmesi algoritmalarından Sinir ağı (Neural Network), Random Forest, Naive Bayes, Karar Ağacı (Decision Tree), Gradient Boost ve Çok Katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron)'lar ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Birden fazla makine öğrenimi tekniğini kullandıkları çalışmada anormallik algılama K-means kümeleme, SO-GALL (Single-Objective Generative Adversarial Active Learning), OCSVM (One-Class Support Vector Machines), Random Forest, Isolation Forest ve AutoEncoder modelleri ile gerçekleştirilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Raspberry Pi'ye bütünleşmiş sensörler ve Node-RED5 IoT programlama aracı ile entegre bir ağ kurulmuştur. ARTEMIS saldırı tespit sisteminde OneClassSVM kullanarak 0.9998 doğrulukla, kötü amaçlı MQTT mesajlarını tespit ettiler (Ciklabakkal ve diğ., 2019). MQTT niteliklerini içeren diğer veri kümesi MQTT-IOT-IDS2020 oluşturularak eğitim ve değerlendirme süreçleri için altı farklı makine öğrenimi tekniği ile veri kümesi test edilmiştir (Hindy, ve diğ., 2020). Vaccari ve diğ., (2020) tarafından sunulan çalışmada ise MQTTset veri kümesi kullanılmıştır. Siber güvenlik alanında yaygın olarak kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarından Sinir ağı (Neural Network), Random

Forest, Naive Bayes, Karar Ağacı (Decision Tree), Gradient Boost ve Çok Katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron) kullanılarak veri kümesi doğrulanmış ve algoritmalar karşılaştırılmıştır. Avelira-Mata, Alaiz-Moreton (2019) tarafından sunulan çalışmada veri kümesi, protokolü yöneten bir sunucu ile birlikte MQTT protokolünü kullanan çeşitli sensörlerin ve cihazların durumuna bakan diğer bilgisayarları kullanarak bir ortamdan bilgi toplamaktadır. Saldırı tespit sistemi ile WLAN ağının tüm çerçevelerini toplayıp ve bunları bir makine öğrenimi modeli aracılığıyla işlemektedir.

Tablo 1'de 1998 yılından 2020 yılına kadar yayınlanmış veri kümeleri yer almaktadır. Bu veri kümelerinde MQTT niteliklerinin yer alan tek veri kümesi MQTTset'dir. Bu çalışmada MQTT protokolüne gerçekleştirilen saldırılar incelendiği için MQTTset veri kümesi seçilmiştir. MQTT niteliklerinin yer aldığı MQTT-IOT-IDS2020 veri kümesinde MQTT niteliklerinin sayısı az olduğu için tercih edilmemiştir. Tablo 1'deki diğer veri kümelerinde ise MQTT niteliklerini içermemektedir.

Tablo 1

Veri Kümelerinin Karşılaştırması

Veri Kümesi	Etiket Verileri	IoT İzleri	MQTT Nitelikleri	Yıl
DARPA 98	✓	✗	✗	1998
DARPA 99	✓	✗	✗	1999
KDDCUP 99	✓	✗	✗	1999
NSL-KDD	✓	✗	✗	2009
ISCX 2012	✓	✗	✗	2012
ADFA-WD	✓	✗	✗	2014
ADFA-LD	✓	✗	✗	2014
CICIDS2017	✓	✗	✗	2017
CICIDS2018	✓	✗	✗	2018
Bot-IoT	✓	✓	✗	2018
TON_IoT	✓	✓	✗	2019
MQTTset	✓	✓	✓	2020
MedBioT	✓	✓	✗	2020
IoT Botnet	✓	✓	✗	2020
MQTT-IOT-IDS2020	✓	✓	✓	2020

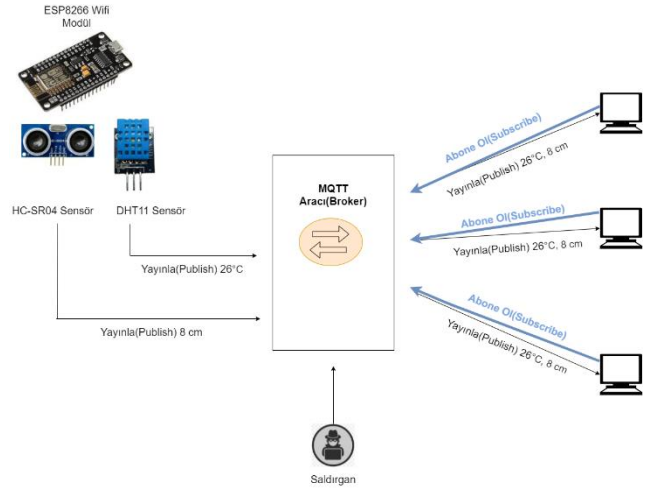
Literatürdeki çalışmalardan görüldüğü üzere, MQTT protokolü özelinde geliştirilmiş veri kümeleri oldukça kısıtlıdır. Veri kümelerinin detaylı incelemesi sonucunda, IoT güvenliği ve saldırı tespiti amacıyla oluşturulmuş birkaç veri kümesinde ise, MQTT ile ilgili niteliklerin sayı olarak oldukça az olduğu ve daha çok

network katmanında yapılan saldırıların tespitinin hedef alındığı görülmüştür. Bu çalışmada, belirlenen veri kümesi eksikliğinin giderilebilmesi amacı ile MQTT saldırılarını içeren yeni bir veri kümesi oluşturulmuş ve var olan MQTTset veri kümesi zenginleştirilerek literatüre katkı sağlanmıştır. Geliştirilen veri kümesi sayesinde algoritmaların başarı oranlarının iyileşmesi hedeflenmiş ve gerçekleştirilen testler ile performansları karşılaştırılmıştır.

3. Yöntem

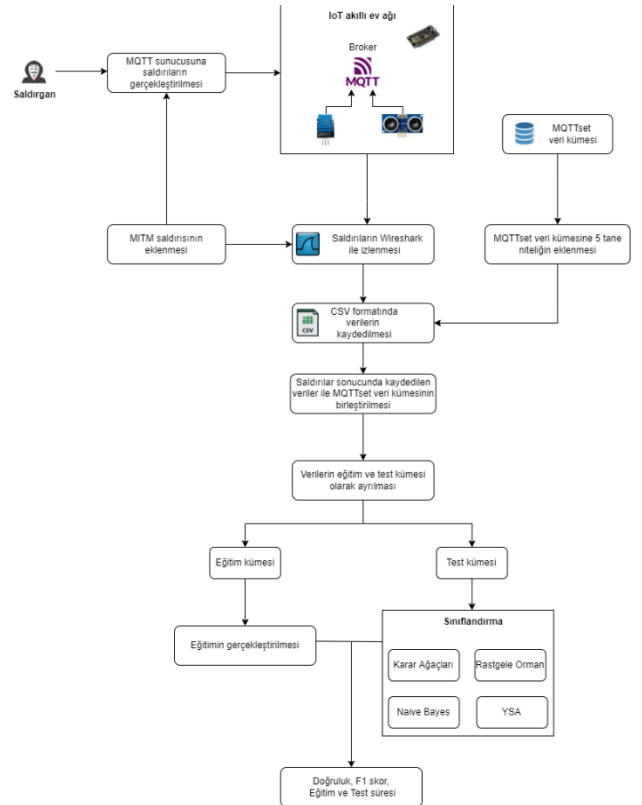
Kullanılan donanımlar, veri kümesi, saldırı araçları ve saldırı tespit yöntemleri için önerilen metot ve yaklaşımlar bu bölümde açıklanmıştır.

MQTT protokolü, IoT platformlarında kullanılan hafif bir mesajlaşma protokolüdür. Son zamanlarda en popüler mesajlaşma protokolleri arasında olması ve kullanım kolaylığı bu çalışmada tercih sebebi olmuştur. MQTT minimum kontrol mesajı 2 bayt, maksimum 256 MB boyutunda olabilir. MQTT protokolünün temel unsuru iletişimi sağlayan bir aracı (broker) olmakla birlikte, yayıncı veya abone olabilen istemci (client) ile sanal bir iletişim kanalı görevi yapan konu (topic) bileşenlerinden oluşur. Aracı, tüm mesajları almaktan, mesajları filtrelemekten, her mesaja kimin abone olduğunu belirlemekten ve ardından mesajı bu abone olan istemcilere yönlendirmekten sorumludur. İstemci, bir MQTT kitaplığı veya SDK çalıştırır ve ağ üzerinden bir MQTT aracısına bağlanır. Hem yayıncı hem de aboneye MQTT istemcileri denir. Konu ise bir MQTT istemcisinin yayınladığı ve aynı zamanda istemcilerin abone olduğu başlıklardır. Mesajların yayınlanması ve abone olunması için merkezi dağıtım merkezi görevi görür. Bir istemci, verileri belirli bir konu için yayıncı olarak gönderir. Bu belirli konuya başka bir istemci tarafından abone olunması gerekir ve mesajı MQTT aracısından alır. Konular, UTF-8 ile kodlanmış, basit ve hiyerarşik dizelerdir. MQTT protokolü, TCP/IP yığına dayanır ve yapılan saldırılar uygulama katmanı saldırılarıdır (GSL, 2022). Bu çalışmada oluşturulan IoT ağına ait mimari Şekil 1'de verilmiştir. Bu çalışmada Wifi modülü (ESP8266), sıcaklık ve nem sensörü (DHT11) ve ultrasonik mesafe sensörü (HC-SR04) kullanılarak bir IoT ağı oluşturulmuştur. Bu bölümde IoT ağında yer alan sensörlerin detaylı bilgileri ve çalışmada nasıl kullanıldığına değinilmiştir.



Şekil 1. IoT Akıllı Ev Ağı

Şekil 2'de verilen diyagramda uygulamada baştan sona bir akış verilmiştir. Bu diyagramda oluşturulan akıllı ev ağında kullanılan MQTT sunucusuna yapılan saldırılardan, eğitim ve test kümesinin oluşturulmasına kadar olan süreç ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın Akış Diyagramı

3.1. MQTTset Veri Kümesi

MQTTset veri kümesi, MQTT ve CoAP protokollerini temel alan ağları taklit edebilen bir ağ trafiği oluşturma aracı olan IoT-Flock kullanılarak oluşturulmuştur (Vaccari ve diğ., 2020). Oluşturulan MQTT trafiği, MQTTset verilerinin oluşturulması sırasında yakalanan bir paket yakalama (PCAP) dosyası olarak temsil edilmiştir. Veri kümesi 11.915.716 ağ paketi ve toplam 1.093.676.216 bayt boyutuyla temsil edilmiştir. 3 saldırı, 1 normal ve 1 bozulmuş olmak üzere 5 farklı sınıf içeren MQTTset veri kümesinin zenginleştirilmesi amacıyla bu çalışmada MQTTset verilerine ek olarak MITM saldırısı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler yeni bir sınıf olarak eğitim ve test verilerine eklenmiştir. Tablo 2'de MQTTset eğitim kümesi ve yeni oluşturulan MITM saldırı sınıfı için paket sayıları verilmiştir. Akıllı ev ağına uygulanan saldırılar ile toplanan veriler MQTTset veri kümesine dahil edilmiştir. Tablo 2'de paket sayıları ayrıştırılarak verilmiştir. Elde edilen eğitim kümesi hem MQTTset eğitim kümesini hem de ağdan toplanan verileri içermektedir. Test kümesi ise sadece akıllı ev ağından toplanan verilerden oluşmaktadır.

Tablo 2

MQTTset ve Ev Ağından Toplanan Eğitim-Test Kümelerinin Paket Sayıları

Saldırı Adı	MQTTset Eğitim Kümesi	Ev Ağından Toplanan Eğitim Kümesi	Ev Ağından Toplanan Test Kümesi
DoS Saldırısı	1,350,000	50,000	1,000
SlowITe Saldırısı	1,350,000	50,000	1,000
Kaba Kuvvet Saldırısı	1,350,000	50,000	1,000
Normal Veriler	7,000,000	5,000	1,000
Bozulmuş Veriler	1,350,000	50,000	1,000
MITM Saldırısı	-	5,000	1,000

DoS Saldırıları (Denial of Service): DoS Saldırıları, internete bağlı bir hostun hizmetlerini geçici veya süresiz olarak aksatarak, bir makinenin veya ağ kaynaklarının asıl kullanıcılar tarafından ulaşılamamasını hedefleyen bir siber saldırıdır. DoS genellikle hedef makine veya kaynağın, gereksiz talepler ile aşırı yüklenmesi ve bazı ya da bütün meşru taleplere doluluktan kaynaklı engel olunması şeklinde gerçekleştirilir. Bu saldırıyı uygulamak ve MQTT hizmetlerinin yükünü test etmek için MQTT-malaria tool kullanılarak eğitim kümesini yazarlar oluşturmuştur (Vaccari ve diğ., 2020).

Tablo 3

MQTTset Veri Kümesi Niteliklerin Listesi (Vaccari ve diğ., 2020)

No	Nitelik Adı	Açıklama	Protokol Katmanı
1	tcp.flags	TCP Flags	TCP
2	tcp.time_delta	Time TCP stream	
3	tcp.len	TCP Segment Length	
4	mqtt.conack.flags	Acknowledge Flags	MQTT
5	mqtt.conack.flags.reserved	Reserved	
6	mqtt.conack.flags.session_present	Session Present	
7	mqtt.conack.return_code	Return Code	
8	mqtt.conflag.clean_session	Clean Session Flag	
9	mqtt.conflag.password	Password Flag	
10	mqtt.conflag.qos	QoS Level	
11	mqtt.conflag.reserved	Reserved	
12	mqtt.conflag.retain	Will Retain	
13	mqtt.conflag.username	User Name Flag	
14	mqtt.conflag.willflag	Will Flag	
15	mqtt.conflags	Connect Flags	
16	mqtt.dupflags	DUP Flag	
17	mqtt.hdrflags	Header Flags	
18	mqtt.kalive	Keep Alive	
19	mqtt.len	Message Length	
20	mqtt.msg	Message	
21	mqtt.msgid	Message Identifier	
22	mqtt.msgtype	Message Type	
23	mqtt.proto_len	Protocol Name Length	
24	mqtt.protoname	Protocol Name	
25	mqtt.qos	QoS Level	
26	mqtt.retain	Retain	
27	mqtt.sub.qos	Requested QoS	
28	mqtt.suback.qos	Granted QoS	
29	mqtt.ver	Version	
30	mqtt.willmsg	Will Message	
31	mqtt.willmsg_len	Will Message Length	
32	mqtt.willtopic	Will Topic	
33	mqtt.willtopic_len	Will Topic Length	

MQTT Yayın Seli: IoT cihazı, periyodik olarak kötü amaçlı MQTT verileri göndererek, sunucunun tüm kaynaklarını ele geçirmektedir. Diğer saldırılardan farklı olarak, birden çok bağlantı yerine tek bir bağlantı kullanarak kaynakları doyurmaya çalışır. Bu saldırı durumunda IoT kilidi aracı içindeki bir modül kullanılarak oluşturulur (Vaccari ve diğ., 2020).

SlowITe Saldırıları: MQTT protokolünü hedefleyen SlowITe (Slow DoS against Internet of Things Environments) saldırıları yavaş DoS saldırıları olarak da bilinmektedir. Bu tür tehdit, Yavaş DoS Saldırıları kategorisine girer ve minimum saldırı bant genişliğini ve hizmet reddi uygulayan bir ağ hizmetini hedeflemek için kaynakları kullanmaktadır. SlowITe'nin amacı, MQTT aracısının aynı anda yönetebildiği tüm kullanılabilir bağlantıları ele geçirmek için sunucuyla yüksek sayıda bağlantıyı sağlamaktır (Vaccari, Aiello ve Cambiaso, 2020).

Bozulmuş Veriler: Hatalı biçimlendirilmiş verileri oluşturmak için MQTTSA aracını kullanmışlardır. MQTT aracısında istisnaları artırmak için kurbanı hatalı biçimlendirilmiş bağlantı veya yayın paketleri gönderilmiştir (Vaccari ve diğ., 2020).

Kaba Kuvvet Saldırıları: Kaba Kuvvet Saldırıları'nda (Brute Force) saldırganın amacı, kimlik doğrulama aşamasında kullanıcıların kimlik bilgilerini kırmaktır. MQTTSA aracı ile bu işlem yazarlar tarafından gerçekleştirilmiştir (Vaccari ve diğ., 2020).

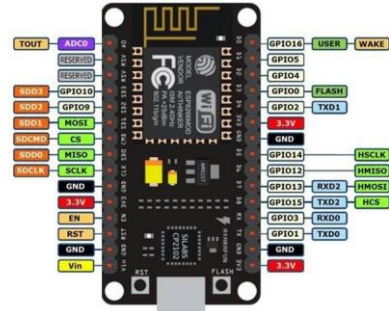
MITM Saldırıları: Salırganın, birbiri ile doğrudan iletişim kuran iki taraf arasındaki iletişimi gizlice ilettiği veya değiştirdiği saldırı türüdür (MITM, 2022).

Tablo 3'te MQTTset veri kümesinde yer alan niteliklerin adı, açıklamaları ve protokol katmanı verilmiştir.

3.2. Kullanılan Donanımlar

Veri kümesinin oluşturulması amacıyla gerçekleştirilen IoT akıllı ev ağı mimarisinin (Şekil 1) oluşturulmasında kullanılan sensör ve modüller bu bölümde detaylandırılmıştır. Uygulamada ESP8266 Wifi modülü, DHT 11 sıcaklık ve nem sensörü, HC-SR04 mesafe sensörü ile ev ağı oluşturulmuştur.

ESP8266 Wifi Modülü: ESP8266 ve 1 MB lık dahili flaş bellekten oluşan tek çip ile Wi-Fi bağlantısı oluşturmaya olanak sağlamaktadır (ESP8266, 2022). Bu modül Arduino gibi geliştirici kartlarla kullanılabilirliği gibi üzerinde bulunan işlemciyle programlanarak herhangi bir geliştirici kart olmadan da kullanılabilir. Bu çalışmada Arduino IDE kullanılarak ESP8266 modülü programlanmıştır. Şekil 3'te ESP8266 modülüne ait pin şeması verilmiştir.



Şekil 3. ESP8266 Wifi Modül Pin Şeması (Dönmez, 2022)

Arduino IDE: Arduino için Entegre Geliştirme Ortamı (IDE), C ve C ++ dilleri ile yazılmış bir platformlar arası uygulamadır (Linux, macOS, Windows için). Arduino IDE (Integrated Development Environment) temelde, çalıştırılabilir kodu hexadecimal format ile metin dosyasına işler. Ardından kullandığımız Arduino IDE'si bu metin dosyasını bağlı olan Arduino kartına aygıt yazılımına yükleyici program ile aktarmayı gerçekleştirir (Arduino, 2022).

DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensör: Bu çalışmada sıcaklık ve nem sensörü (DHT11) ve ultrasonik mesafe sensörü (HC-SR04) tercih edilmiştir. DHT11, ortamdaki sıcaklığı ve nemi ölçmek amacıyla kullanılan bir sensördür. Ortam sıcaklığını çeşitli ısı birimlerinde (celcius, farhenayt, kelvin) elde etmek ve ortamdaki nemi % cinsinden ölçmek için kullanılmaktadır (DHT11, 2022). Akıllı ev projelerinde genellikle DHT11 sensörü kullanıldığı için tercih edilmiştir. Bu sensörden verileri okumak için dht kütüphanesi kullanılmıştır. Şekil 4'te DHT11 sensörünün pin şeması verilmiştir.



Şekil 4. DHT11 Sensör Pin Şeması

HC-SR04 Mesafe Sensörü: Arduino gibi geliştirme kartlarında kullanılmak üzere tasarlanmış olan bu sensör, kullanım kolaylığından dolayı çoğu robotik projelerinde yer alan bir mesafe ölçüm sensörüdür. Bu sensör 2 cm- 400 cm arasında %1 hata payıyla ölçüm yapabilmektedir. En verimli ölçüm yaptığı mesafe 2 – 200 cm arasındadır (İzgül ve Kerem (2022)). Akıllı ev projesinde kullanılacağı için bu sensör yeterli mesafe aralığına sahiptir. Ultrasonik sensörü tetiklemek ve alınan sinyal darbe genişliğini otomatik ölçmek için NewPing kütüphanesi kullanılmıştır. Şekil 5'te mesafe sensörünün pin şeması verilmiştir.



Şekil 5. HC-SR04 Sensör Pin Şeması

3.3. Saldırı ve İzleme Araçları

Bu çalışmada HOIC, DirSearch, Slowloris, Cain ve Abel saldırı araçları tercih edilmiştir. Saldırıları Windows ortamında kurulan IoT ev ağına gerçekleştirilmiştir.

HOIC Saldırı Aracı: High Orbit Ion Cannon (HOIC), aynı anda 256 URL'ye kadar saldırmak için tasarlanmış açık kaynaklı bir ağ stres testi ve hizmet reddi saldırı uygulamasıdır (HOIC, 2022). Hedef URL'ye yapılan hizmet reddi (DoS) saldırısı, siteyi aşırı yüklemeye ve onu indirme girişiminde aşırı trafik göndererek gerçekleştirilir.

DirSearch Kaba Kuvvet Saldırı Aracı: Bu çalışmada, kaba kuvvet saldırısı gerçekleştirmek için DirSearch aracı kullanılmıştır (Dirsearch, 2022). Açık kaynak olan bu saldırı aracı maurosoria ve shell3v tarafından geliştirilmiştir. Saldırı aracı ile MQTT sunucusuna saldırı yapılmış ve Wireshark ile bu saldırı izlenmiştir. Saldırı sonucunda Tablo 2'deki niteliklere ait değerler CSV formatında kaydedilmiştir.

Slowloris Saldırı Aracı: Slowloris, temelde iş parçacıklı sunucuları etkileyen bir HTTP Hizmet Reddi saldırısıdır (Slowloris, 2022). Bu saldırıda sunucu iş parçacığı havuzunu tüketir ve sunucu diğer kişilere yanıt veremez hale gelmektedir. Bu çalışmada Python ile geliştirilmiş Slowloris saldırı aracı kullanılmıştır. Saldırı Wireshark ile izlenmiş ve değerler CSV formatında kaydedilmiştir.

MQTTSA Saldırı Aracı: MQTT tabanlı ortamlardaki yanlış yapılandırmaları otomatik olarak değerlendirerek ve olası güvenlik açıklarını doğal dil açıklamalarından farklı düzeylerde bir rapor sunarak IoT geliştiricilerinin güvenlik farkındalığını artırmak için tasarlanmış bir araçtır (MQTTSA, 2022). Bu saldırı aracı ile Koklama (Sniffing) Saldırıları, Kaba Kuvvet Saldırıları, Bilgilerin Açıklanması (Information Disclosure), Hatalı Biçimlendirilmiş Veriler (Malformed) ve Hizmet Reddi (Denial of Service) Saldırıları gerçekleştirilmektedir. MQTTSA aracı ile test verilerinde yer alan hatalı biçimlendirilmiş veriler elde edilmiştir.

Cain & Abel Saldırı Aracı: Cain ve Abel; Kaba Kuvvet, ARP zehirlenmesi ve MITM Saldırıları gibi birçok saldırıyı gerçekleştirmek için kullanılan Windows tabanlı bir araçtır. MITM, iki bağlantı arasındaki iletişimin dinlenmesi ile çeşitli verilerin ele geçirilmesi veya iletişimi dinlemekle kalmayıp her türlü değişikliğin yapılmasını da kapsayan bir saldırı yöntemidir (Cain ve Abel, 2022). Bu çalışmada MQTTset veri kümesinde yer

alan eğitim ve test verilerine MITM saldırıları sonucunda kaydedilen veriler de eklenmiştir.

Wireshark İzleme Aracı: Bu çalışmada, izleme aracı olarak Wireshark kullanılmıştır. Wireshark, kullanıcının ağ arabirimi denetleyicilerini rastgele moda koymasına olanak tanır (Wireshark, 2022). MQTTset veri kümesinde yer alan nitelikler, saldırı anında ve normal zamanda Wireshark ile izlenerek saldırı anı tespit edilmiş ve CSV formatında bütün saldırılar sonucunda değerler kaydedilmiştir.

Tablo 4

Sensörler ve İzleme Yöntemleri

Sensör	IP Adresi	Zaman	Konu	İzleme Yöntemi
DHT 11 Sensör	192.16 8.0.32	Periyodik Davranış	Sıcaklık, Nem	Serial Monitör, Wireshark
HC-SR04 Sensör	192.16 8.0.32	Rastgele Davranış	Uzaklık	Serial Monitör, Wireshark

Tablo 4'te sunulan sensörler ve izleme yöntemleri ile DoS, MITM, SlowITe ve Kaba Kuvvet saldırıları akıllı ev ağına gerçekleştirilerek veriler toplanmıştır. MITM saldırısı ile MQTTset veri kümesine Tablo 5'te yer alan nitelikler hem eğitim hem de test kümesine eklenmiştir. Ayrıca DoS, SlowITe ve Kaba Kuvvet saldırıları ile Tablo 2'de yer alan eğitim ve test kümeleri MQTTset veri kümesine dahil edilmiştir.

Tablo 5

MQTTset Veri Kümesi Eklenen Nitelikler

İsim	Açıklama	Protokol Katmanı
ipv6.plen	IPv6 Payload Length	IPV6
ipv6.nxt	IPv6 Next Header	IPV6
tcp.srcport	Source Port	TCP
tcp.dstport	Destination Port	TCP
eth.src	Source	TCP/IP

3.4. Python Programlama Dili

Python, nesne yönelimli, yorumlamalı, modüler ve etkileşimli yüksek seviyeli bir programlama dilidir. Python ile sistem programlama, kullanıcı arabirimi programlama, ağ programlama, web programlama, uygulama ve veri tabanı yazılımı programlama gibi birçok alanda yazılım geliştirilmektedir (Python,2022). Bu çalışmada kullanılan kütüphaneler Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6

Kütüphaneler ve Kullanım Amaçları

Kütüphane	Kullanım Amacı
Scikit-Learn (sklearn)	Makine öğrenimi, Naive Bayes ve Karar Ağaçları sınıflandırma/eğitim ve test işlemleri
Pandas	Veri analizi
Numpy	Matematiksel hesaplama
Keras	Model tanımlama ve eğitim
Tensorflow	Sinir ağları eğitim ve test işlemleri
Matplotlib	Veri görselleştirme
Warnings	Uyarı mesajlarını görüntüleme

3.5. Algoritmalar

Bu çalışmada Naive Bayes, Rastgele Karar Ormanları, Karar Ağaçları ve Yapay Sinir Ağları kullanılarak sınıflandırma, eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Naive Bayes Algoritması: Naive Bayes Sınıflandırması, makine öğreniminde öğreticili öğrenme alt sınıfındadır. Daha açık bir ifadeyle sınıflandırılması gereken sınıflar ve örnek verilerin hangi sınıflara ait olduğu bellidir. Sınıflandırma işleminde genel olarak elde bir örüntü vardır. Buradaki işlem de bu örüntüyü daha önceden tanımlanmış sınıflara sınıflandırmaktadır. Her örüntü nicelik (Feature ya da parametre) kümesi tarafından temsil edilir (Naive Bayes, 2022). Az eğitim veri kümesiyle başarılı sonuçlar verebildiği için bu sınıflandırıcı seçilmiştir. Bu sınıflandırıcı ile Sklearn kütüphanesi (GaussianNB) kullanılarak eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Naive Bayes teoreminin formül ile gösterimi (1) verilmiştir.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

$P(A|B)$; B olayı gerçekleştiği durumda A olayının meydana gelme olasılığıdır. $P(B|A)$; A olayı gerçekleştiği durumda B olayının meydana gelme olasılığıdır. $P(A)$ ve $P(B)$; A ve B olaylarının önsel olasılıklarıdır. Burada önsel olasılık Bayes teoreminine öznellik katar. Diğer bir ifadeyle örneğin $P(A)$; henüz veri toplanmadan A olayı hakkında sahip olunan bilgidir (Naive Bayes, 2022).

Matematiksel bir ifadeyle Naive Bayes sınıflandırması

$$P(x|S_i)P(S_i) > P(x|S_j)P(S_j), \forall j \neq i \quad (2)$$

ifadesindeki $P(x|S_i)$ terimi aşağıdaki gibi yeniden yazılır.

$$P(S_i) \prod_{k=1}^L P(x_k|S_i) > P(S_j) \prod_{k=1}^L P(x_k|S_j) \quad (3)$$

$P(S_i)$ ve $P(S_j)$ i ve j sınıflarının öncel olasılıklarıdır.

Rastgele Orman Algoritması: Rastgele Orman Algoritması (Random Forest); sınıflandırma, regresyon ve diğer görevler için, eğitim aşamasında çok sayıda karar ağacı oluşturarak problemin tipine göre sınıf veya sayı (Regresyon) tahmini yapan bir toplu öğrenme yöntemidir. Rastgele Ormanlar, karar ağaçlarının eğitim setlerine aşırı uyma problemlerini gidermektedir (Rastgele Orman, 2022). Bu sınıflandırıcı ile Sklearn kütüphanesi (Random Forest Classifier) kullanılarak eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma verilerine dayalı Rastgele Orman gerçekleştirirken, genellikle Gini indeksini veya bir karar ağacı dalında düğümlerin nasıl olacağına karar vermek için kullanılan formülü (4) verilmiştir.

$$Gini = 1 - \sum_{i=1}^c (p_i)^2 \quad (4)$$

Bu formül, bir düğümdeki her dalın Gini'sini belirlemek için sınıfı ve olasılığı kullanır ve dallardan hangisinin daha olası olduğunu belirler. Burada p_i , veri setinde gözlemlenilen sınıfın görece frekansını, c ise sınıf sayısını temsil eder (Schott, 2022).

$$Entropy = \sum_k - p_i * \log_2(p_i) \quad (5)$$

Entropy, Gini indeksinden farklı olarak, hesaplanmasında logaritmik fonksiyon kullanılmaktadır (Schott, 2022).

Karar Ağaçları: Karar Ağaçları, en çok kullanılan gözetimli öğrenme algoritmalarındandır. Genel itibarıyla ele alınan bütün problemlerin (Sınıflandırma ve regresyon) çözümüne uyarlanabilirler. Karar Ağaçları (Decision Tree), Rastgele Orman, Gradyen Güçlendirme (Gradient Boosting) gibi yöntemler, her türlü veri bilimi problemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar (Ulgen, 2022). Karar Ağacı Algoritması, veri setini küçük parçalara bölerek geliştirilmiştir. Bu sınıflandırıcı ile Sklearn kütüphanesi

(Decision Tree Classifier) kullanılarak eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Karar Ağaçları Entropy formülü (6) aşağıda verilmiştir.

$$H(X) = E(I(X)) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i) \quad (6)$$

$I(X)$; rastgele bir değişken olan X'in bilgi içeriğidir. $p(x_i)$; X'in olasılık kütle fonksiyonudur.

Yapay Sinir Ağları: Gözetimli öğrenme algoritmalarından olan Yapay Sinir Ağları, eş zamanlı çalışarak karmaşık işleri gerçekleştirebilmektedir. Örüntü tanıma, sınıflandırma yaparak. eksik örüntüleri tamamlayabilirler. Yapay Sinir Ağları başlıca teşhis, sınıflandırma, tahmin, kontrol, veri ilişkilendirme, veri filtreleme, yorumlama gibi alanlarda kullanılmaktadır (Yıldırım, 2022). Çok katmanlı Perceptron Sınıflandırıcısı olan Sklearn kütüphanesi (MLPClassifier) ile parametreleri güncelleme ve parametrelere göre kayıp fonksiyonunun hesaplanması sağlanmıştır.

3.6. Performans Değerlendirmesi

Veri kümesi sınıflandırma sonucunda performansını karşılaştırmak için bu çalışmada Doğruluk (ACC) ve F1 skor değerleri kullanılmıştır (Accuracy and Precision, 2022).

Doğruluk:

Doğruluk değeri, doğru tahmin edilen alanların, toplam veri kümesine oranı ile hesaplanır.

Doğru Pozitif (DP): Gerçekte pozitif (saldırı) olan ve tahmin edildiğinde de pozitif (saldırı) olarak sınıflandırılan örnekleri ifade etmektedir.

Yanlış Negatif (YN): Gerçekte pozitif (saldırı) olan ve tahmin edildiğinde de negatif (normal) olarak sınıflandırılan örnekleri ifade etmektedir.

Yanlış Pozitif (YP): Gerçekte negatif (normal) olan ve tahmin edildiğinde de pozitif (saldırı) olarak sınıflandırılan örnekleri ifade etmektedir.

Doğru Negatif (DN): Gerçekte negatif (normal) olan ve tahmin edildiğinde de negatif (normal) olarak sınıflandırılan örnekleri ifade etmektedir. Denklem (7)'de bu çalışmada kullanılan başarımlar ölçütü verilmiştir (Burukanlı, Çıbuk ve Budak (2021)).

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP + DN}{DP + YN + YP + DN} \quad (7)$$

F1 Skor:

F1 Skor, kesinlik ve duyarlılık değerlerinin harmonik ortalamasını vermektedir. F1 skor'un doğruluk değerinden farkı; eşit dağılmayan veri kümelerinde hatalı bir model seçimi yapmamaktır (F-score, 2022).

$$PRC = \frac{DP}{DP + YP} \quad (8)$$

$$REC = \frac{DP}{DP + YN} \quad (9)$$

PRC ve REC değerleri (8) ve (9)'da verilmiştir. Bu değerler (10)'da yerine yazılarak F1 Skor değeri hesaplanmaktadır.

$$F1 \text{ Skor} = 2 * \frac{PRC * REC}{PRC + REC} \quad (10)$$

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4. Bulgular

Kaggle, analiz, metriklerin kullanımı ve makine öğrenmesi algoritmalarının test edilmesi için bir platformdur. MQTTset veri kümesi Vaccari ve diğ., (2020) tarafından eğitim ve test kümesi olarak ikiye ayrılmıştır. Bu çalışmada veri kümesi ve algoritmalar ile eğitim ve test sürelerinin hesaplanması sağlanmıştır. Naive Bayes, Karar Ağaçları, Rastgele Ormanlar ile sınıflandırma işlemi yapılmış ve sonucunda test örneklerinin ne kadarlık bir zaman süresinde sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Sınıflandırıcıları eğitim ve test sürelerini hesaplamak için Python kütüphaneleri kullanılmıştır.

DHT11 sensörü ile odadaki sıcaklık ve nem bilgilerinin anlık kontrolü sağlanmıştır. Bu sensör dışında birçok sensör bu akıllı ev ağında kullanılabilir. DHT11 sensörüne ek olarak akıllı ev ağında HC-SR04 (Ultrasonik sensör) da kullanılmıştır. Veriler aracı (broker)'dan okunarak Wireshark aracı ile izlenmesi sağlanmıştır. Modül, aracı (broker)'daki sıcaklık, nem ve mesafe konu (Topic)'larına abone (Subscribe) olacaktır. Bu modülün MQTT Broke'a bağlanması için PubSubClient kütüphanesi tercih edilmiştir.

Tablo 5'teki niteliklerin veri kümesine eklenmesi sonucunda Veri kümesinden elde edilen sonuçlara göre Karar Ağaçları Algoritması'nın Naive Bayes'ten daha yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmüştür.

Karar Ağaçlarının eğitim süresi daha uzun iken test süresi diğer algoritmaya göre daha kısadır. Tablo 7'de MQTTset veri kümesi ile yapılan testlerin sonuçları verilmiştir.

Tablo 7

MQTTset Veri Kümesi ile Yapılan Test Sonuçları

Algoritma	Doğruluk	F1 Skor	Eğitim Süresi (s)	Test Süresi (s)
Karar Ağaçları	0.903	0.900	316	78
Naive Bayes	0.643	0.758	251	76
Yapay Sinir Ağları	0.849	0.861	778	130
Rastgele Orman	0.902	0.900	1500	85

Tablo 8'de MQTTset veri kümesine yeni eklenen verilerle birlikte yapılan testlerin sonuçları verilmiştir. Tablo 7 ve 8 incelendiğinde MQTTset veri kümesine eklenen veriler ile doğruluk ve F1 skor değerleri artarken, eğitim ve test sürelerinde artış gözlenmektedir.

Tablo 8

MQTTset Veri Kümesine Eklenen Verilerle Yapılan Test Sonuçları

Algoritma	Doğruluk	F1 Skor	Eğitim Süresi (s)	Test Süresi (s)
Karar Ağaçları	0.956	0.904	346	72
Naive Bayes	0.922	0.825	271	75
Yapay Sinir Ağları	0.815	0.851	780	75
Rastgele Orman	0.915	0.858	2500	95

5. Sonuçlar

Sunulan çalışma akıllı ev güvenlik ağının bir parçası olduğundan ileride farklı sensörler ve modüller ile genişletilebilir yapıdadır. MQTT ile haberleşme sağlayan bu ağda mesajların güvenilirliği test edilmiştir. MQTT protokolü kablosuz sensörlerin ağ ortamında çalışma kolaylığı sebebiyle tercih edilmiş olup asenkron haberleşmektedir. Geliştirilen uygulamada ve testler sonucunda MQTT protokolünün saldırılara karşı açık olduğu ortaya konulmuştur. Saldırıları herhangi bir ağa gerçekleştirilebileceği için veri kayıplarına ve sızma işlemlerine karşı savunmasızdır. MQTTset veri kümesindeki niteliklerin eklenmesi ve saldırı çeşidinin

artırılması ile doğruluk ve skor değerlerinde artış gözlenmiştir. Ayrıca akıllı ev ağına gerçekleştirilen saldırıların sonucunda veriler ve ağda izlenen bozulmuş ve normal verilerin eklenmesi ile MQTTset veri kümesi genişletilmiştir. Bu veri kümesi ve saldırıların Windows ortamında gerçekleştirilmesi ile literatüre katkı sağlandığı düşünülmüştür. İlerleyen çalışmalarda bu saldırılara karşı önlemler alınması ve daha fazla saldırı aracı ile testlerin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca MQTTset veri kümesi dışında yer alan veri kümeleri ile de çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışma ile ileride bu konu üzerine çalışma yapacak araştırmacılar için geniş ve pratik bilgiler verilmiştir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Ayça Nur KAHYA, test ortamının kurulması, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanması; Esra Nergis YOLAÇAN, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Accuracy and Precision (2022). Vikipedi içinde. Erişim Adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy_and_precision
- Agrawal, D., Agrawal, C., ve Yadav, H. (2020) A Machine Learning Based Intrusion Detection Framework Using KDDCUP 99 Dataset. International Journal of Innovative Research in Technology and Management, 4(6), 179-189. Erişim adresi: <http://www.ijirtm.com/UploadContent/finalPaper/IJIRTM-0406202025.pdf>
- Arduino (2022). Vikipedi içinde. Erişim Adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Arduino_IDE
- Aveira-Mata, J., ve Alaiz-Moreton, H. (2019). Functional Prototype for Intrusion Detection System Oriented to Intelligent IoT Models. In International Symposium on Ambient Intelligence 179-186. doi:https://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-24097-4_22
- Burukanlı, M., Çıbuk, M., & Budak, Ü. (2021) Saldırı Tespiti için Makine Öğrenme Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10(2), 613-624.

- Cain&Abel (2022). Github içinde. Erişim Adresi: <https://github.com/xchwarze/Cain>
- Canedo, J., ve Skjellum, A. (2016). Using machine learning to secure IoT systems. In 2016 14th annual conference on privacy, security and trust. 219-222. IEEE.doi:<https://dx.doi.org/10.1109/PST.2016.7906930>
- Ciklabakkal, E., Donmez, A., Erdemir, M., Suren, E., Yilmaz, M. K., ve Angin, P. (2019). ARTEMIS: An intrusion detection system for MQTT attacks in internet of things. In 2019 38th Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS). 369-3692. IEEE.doi:<https://dx.doi.org/10.1109/SRDS47363.2019.00053>
- DHT11 (2022). Erişim Adresi: <https://www.arduinomediamedia.com/arduino-ile-dht11-sicaklik-ve-nem-sensoru-kullanimi/>
- Dirsearch. (2022). Github içinde. Erişim Adresi: <https://github.com/maurosoria/dirsearch>
- Dönmez, M. (2022). ESP8266 üzerindeki hangi GPIO pinleri kullanılabilir. Erişim Adresi: <https://www.muratdonmez.com.tr/esp8266-uzerindeki-hangi-gpio-pinleri-kullanilabilir/>
- ESP8266 (2022). Vikipedi içinde. Erişim Adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/ESP8266>
- F-Score (2022). Vikipedi içinde. Erişim Adresi: <https://en.wikipedia.org/wiki/F-score>
- GSL (2022). IoT Uygulamalarında Verimli ve Esnek Bir Haberleşme Yapısı. Erişim Adresi: <https://www.gsl.com.tr/mqtt-endustriyel-nesnelerin-interneti-uygulamalarinda-verimli-ve-esnek-bir-haberlesme-yapisi.html>
- Gupta, V., Khera, S., ve Turk, N. (2021). MQTT protocol employing IOT based home safety system with ABE encryption. Multimedia Tools and Applications, 80(2), 2931-2949. doi: <https://dx.doi.org/10.1007/s11042-020-09750-4>
- Hindy, H., Bayne, E., Bures, M., Atkinson, R., Tachtatzis, C., ve Bellekens, X. (2020). Machine learning based IoT Intrusion Detection System: an MQTT case study (MQTT-IoT-IDS2020 Dataset). In International Networking Conference. 73-84. doi: https://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-64758-2_6
- HOIC (2022). Vikipedi içinde. Erişim Adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/High_Orbit_Ion_Can
- İzgöl, Kerem. (2022). Maker Robotistan. Erişim Adresi: <https://maker.robotistan.com/arduino-dersleri-19-hc-sr04-ultrasonik-mesafe-sensoru-kullanimi/>
- Karande, J., & Joshi, S. (2021). EADA: An Algorithm for Early Detection of Attacks on IoT Resources. International Journal 10.1. doi: <https://dx.doi.org/10.30534/ijatcse/2021/161012021>
- Khraisat, A., ve Alazab, A. (2021). A critical review of intrusion detection systems in the internet of things: techniques, deployment strategy, validation strategy, attacks, public datasets and challenges. Cybersecurity, 4(1), 1-27. doi: <https://dx.doi.org/10.1186/s42400-021-00077-7>
- Manzoor, I., ve Kumar, N. (2017). A feature reduced intrusion detection system using ANN classifier. Expert Systems with Applications, 249-257. doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2017.07.005>
- Mısır, O., & Gökrem, L. (2020). Nesnelerin İnterneti için MQTT ile Hiyerarşik Haberleşme. Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences, (12), 1-11. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1176460>
- MITM (2022). Vikipedi içinde. Erişim Adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Man-in-the-middle_saldırısı
- MQTTSA (2022). Sites Google. Erişim Adresi: <https://sites.google.com/fbk.eu/mqttsa/home>
- Naïve Bayes (2022). Vikipedi içinde. Erişim Adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Naive_Bayes_classifier
- Oral, O., ve ÇAKIR, M. (2017). Nesnelerin İnterneti Kavramı ve Örnek Bir Prototipin Oluşturulması. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 172-177. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/328807>
- Python (2022). Vikipedi içinde. Erişim Adresi: [https://tr.wikipedia.org/wiki/Python_\(programlama_dili\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Python_(programlama_dili))
- Schott, Madison. (2022). Random Forest Algorithm for Machine Learning. Erişim Adresi: <https://medium.com/capital-one-tech/random-forest-algorithm-for-machine-learning-c4b2c8cc9feb>
- Rastgele Orman (2022). Vikipedi içinde. Erişim Adresi: https://tr.wikipedia.org/wiki/Rastgele_orman
- Shalaginov, A., Semeniuta, O., ve Alazab, M. (2019). MEML: resource-aware MQTT-based machine learning for network attacks detection on IoT edge devices. In Proceedings of the 12th IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing Companion, 123-128. doi: <https://dx.doi.org/10.1145/3368235.3368876>

Slowloris (2022). Github. Erişim Adresi:
<https://github.com/gkbrk/slowloris>

Ulgen, Kaan. (2022). Karar Ağaçları. Erişim Adresi:
<https://medium.com/@k.ulgen90/makine-ogrenimi-bolum-5-karar-agaclari-c90bd7593010>

Vaccari, I., Aiello, M., ve Cambiaso, E. (2020). SlowITe, a novel denial of service attack affecting MQTT. Sensors, 20(10), 2932. doi:
<https://dx.doi.org/10.3390/s20102932>

Vaccari, I., Chiola, G., Aiello, M., Mongelli, M., ve Cambiaso, E. (2020). MQTTset, a new dataset for machine learning techniques on MQTT. Sensors, 20(22), 6578. doi:
<https://dx.doi.org/10.3390/s20226578>

Wireshark (2022). Wikipedi içinde. Erişim Adresi:
<https://tr.wikipedia.org/wiki/Wireshark>

Yıldırım, Elif. (2022). Veri Bilimi Okulu. Erişim Adresi:
<https://www.veribilimiokulu.com/yapay-sinir-agiartificial-neural-network-nedir/>

Zhang, Y., Li, P., ve Wang, X. (2019). Intrusion detection for IoT based on improved genetic algorithm and deep belief network. IEEE Access,7, 31711-31722. doi:
<https://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2903723>

SIDELobe REDUCTION OF LINEAR ANTENNA ARRAY BY POSITION-ONLY CONTROL USING NOVEL METAHEURISTIC OPTIMIZATION METHODS

Ali DURMUS^{1*}, Zafer YILDIRIM²

¹ Kayseri University, Vocational College, Department of Electricity and Energy, Kayseri, Turkey,

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-8283-8496>

² Kayseri University, Faculty of Engineering Architecture and Design, Department of Electrical Electronics Engineering, Kayseri, Turkey,

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-3584-6770>

Keywords	Abstract
Artificial intelligence Optimization Antenna array synthesis Sidelobe reduction	<i>In this study, the positions of linear antenna array elements (LAAs) are optimized for antenna design with the desired radiation patterns by using Honey Badger Algorithm (HBA) and Chameleon Swarm Algorithm (CSA) methods, which are the novel metaheuristic algorithms. LAAs with 10, 12, 24, and 32 elements are considered in the simulations. While designing the antenna, the half power beam width (HPBW) of the antenna array is kept at a minimum level and the sidelobe level (SLL) is suppressed as much as possible. In addition, results obtained with the swarm-based metaheuristic algorithms Artificial Bee Colony (ABC) and Particular Swarm Algorithm (PSO) methods, which are quite well known in the literature are compared to test the performance and accuracy of the HBA and CSA methods. As a result of these comparisons, the antenna design with high directivity, gain and desired pattern has been successfully obtained with the HBA and CSA optimization methods.</i>

YENİ METASEZGİSEL OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİNİ KULLANARAK YALNIZCA KONUM KONTROLÜYLE DOĞRUSAL ANTEN DİZİLERİNİN YAN DEMET SEVİYELERİNİN BASTIRILMASI

Anahtar Kelimeler	Öz
Yapay zeka Optimizasyon Anten dizi sentezi Yan demet bastırma	<i>Bu çalışmada, istenen ışına diyagramlarına sahip anten dizi tasarımı için yeni metasezgisel metodlardan olan Bal Porsuğu Algoritması (Honey Badger Algorithm-HBA) ve Bukalemun Sürüsü Algoritması (Chameleon Swarm Algorithm-CSA) kullanılarak doğrusal anten dizi (Linear Antenna Array-LAA) elemanlarının konumları optimize edilmiştir. Simülasyonlarda 10, 12, 24 ve 32 elemanlı doğrusal anten dizileri dikkate alınmıştır. Anten tasarımı yapılırken dizinin yarı demet güç genişliği (Half Power Beam Width-HPBW) minimum seviyede tutulmuş ve yan demet seviyesi (Sidelobe Level-SLL) mümkün olduğunca bastırılmıştır. Ayrıca HBA ve CSA yöntemlerinin performans ve doğruluğunu test etmek için literatürde oldukça iyi bilinen sürü tabanlı metasezgisel algoritmalar olan Yapay Arı Kolonisi (ABC) ve Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) yöntemleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Bu karşılaştırmalar sonucunda, HBA ve CSA optimizasyon yöntemleri ile yüksek yönlülük, kazanç ve istenilen ışına diyagramlarına sahip anten tasarımları başarılı bir şekilde elde edilmiştir.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 02.11.2021	Submission Date : 02.11.2021
Kabul Tarihi : 27.01.2022	Accepted Date : 27.01.2022

* Sorumlu yazar; e-posta : alidurmus@kayseri.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

With the developing communication technology, the need for objects to communicate with each other is increasing. This increases the interest in antenna design, which is one of the most important elements of communication technology. Today, one antenna cannot achieve sufficient gain and high directivity. Therefore, different antenna arrays with a certain geometry consisting of two or more antennas are needed (Balanis, 2011). Antenna arrays make different radiation patterns in order to communicate from one point to another. In communication systems, it has become very important to design antennas with the desired radiation pattern. Thanks to the rapid developments in biomedical, Industry 4.0, Internet of Things (IoT), and 5G technologies, the need for the design of different antennas arises. It is necessary to design more effective antenna arrays for uninterrupted and high-capacity communication and to reduce electromagnetic pollution that arises with increasing communication technology. The desired radiation pattern can be obtained by optimizing the positions, phases, and amplitudes of the antenna arrays. (Banerjee and Dwivedi, 2013; Chakravarthy et al., 2018; Durmus et al., 2021; Ebrahimzade et al., 2016; Kaur and Goyal, 2017; Khodier, 2019; Laseetha and Sukanesh, 2011; Laseetha and Sukanesh, 2012; Li et al., 2013).

The optimization process is a method of finding the best solution in the search space (Mirjalili and Dong, 2020). These methods are used to optimize the gain, especially in engineering problems. By optimizing, the gain of a system can be increased, and it can be brought closer to the desired aim. Nowadays, the use of metaheuristic optimization methods in antenna design to gain the desired radiation pattern is very popular. (Mangoud and Elragal, 2009; Liang et al., 2009; Recioui, 2012; Saxena and Kothari, 2016; Shrivastava and Cecil, 2012; Shrivastava, 2013; Singh and Salgotra, 2018; Singh and Salgotra, 2017). At the same time, metaheuristic optimization methods are used in many different optimization problems due to their fast convergence curves, independence of derivatives, and ability to avoid local minimums.

The aim of this study is to obtain an effective linear antenna array (LAA) with high directivity. In order to have these properties, three parameters, which are mostly called phases, positions and amplitudes are optimized in antenna arrays. Many different methods can be used to optimize antenna arrays. In this study, positions only of the LAA elements have been optimized with the Honey Badger Algorithm (HBA) and Chameleon Swarm Algorithm (CSA) methods, which have just entered the literature. In addition, the performance of novel HBA and CSA methods are compared with Artificial Bee Colony (ABC) and Particle Swarm Algorithm (PSO) methods, which are well known in the literature. In order to test the performance of all

metaheuristic methods, LAAs with different numbers of elements is determined as 10, 12, 24, and 32. By keeping half power beam width (HPBW) to a minimum for the cost of the optimization problem, the efficiency of the antenna is increased, and high directivity is provided by suppressing the sidelobe level (SLL). During the optimization process, the aim is not only to design an effective array of antennas but also to quickly solve the antenna design problem of these methods. For the 10, 12, 24, and 32 elements LAA design, the positions of the elements are optimized with ABC, PSO, HBA, and CSA. The SLL and CPU time performance indicators of these metaheuristic methods are given comparatively.

Contributions of this study can be summarized as:

- Implementation of HBA and CSA, two recent metaheuristics, are applied to LAA synthesis with position-only optimization.
- HBA and CSA performances are compared with PSO and ABC, two well-known swarm-based optimization algorithms.
- Experiments are repeated 30 times due to the random nature of the algorithms and statistical results are also tabulated.
- CPU time consumptions of the algorithms are also compared.

The article is organized as follows: Section II presents the problem formulation. In Section 3, optimization algorithms are briefly explained. Comparative statistical data obtained with simulation results and optimization algorithms are given in Section 4. Finally, In Section 5 presented the conclusion.

2. Formulation of Problem

The design of the LAA with $2N$ elements placed as found values throughout the x -axis is shown in Figure 1. When the origin point is taken as a reference, the antenna array with $2N$ elements contains N antenna elements in both regions of the x -axis.

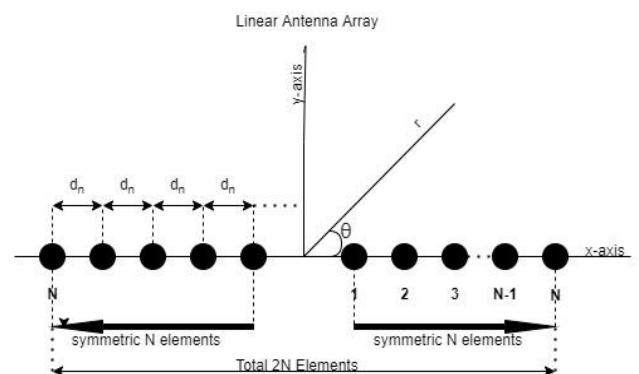


Figure 1. Geometry of LAA

The array factor (AF) of LAA with symmetrical N elements positioned throughout the x-axis is given in Equation 1 (Balanis, 2011):

$$AF = 2 \sum_{n=1}^N I_n e^{j(n-1)\psi} \quad (1)$$

where I_n amplitude excitation of n_{th} element in LAA. ψ represents as $\psi = (k d_n \cos\gamma + \beta)$. β indicates the increasing phase excitation due to the previous element. The scanning angle is γ and k symbolizes the wave number and is formulated as $k = \frac{2\pi}{\lambda}$. The array factor formula can be shown as Equation 2 (Balanis, 2011):

$$AF = 2 \sum_{n=1}^N I_n e^{j(n-1)(\frac{2\pi}{\lambda} d_n \cos\gamma + \beta)} \quad (2)$$

where d_n is distance inter-elements of n_{th} element in this LAA, regularly. The total number of elements in this LAA is $2N$, but since these antennas are the same and symmetrical on both sides, the parameter to be optimized is equal to half of the total number of antennas, N . In this work, phase values are taken as zero.

Only position values of LAAs with the desired radiation patterns are optimally determined by four different optimization algorithms namely PSO, ABC, HBA, and CSA. The purpose of antenna design is to transfer data to as long distance as desired without being affected by the electromagnetic pollution in the environment. Therefore, it is very important to suppress unwanted electromagnetic interferences in the environment. In order to prevent electromagnetic interferences, the SLLs of the radiation patterns should be good reduced. The aim here is to obtain a radiation pattern with a minimum SLL value and maximum performance. The HPBW value is also included in the fitness function, and this value has been determined as constant in all simulation studies to achieve desired patterns. The fitness function can be defined as Equation 3 (Durmus et al., 2021):

$$Fit_{function} = \begin{cases} I_{nf} & \text{if } HPBW_{obt} > HPBW_{des} \\ f_{SLL} & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

where $HPBW_{des}$ and $HPBW_{obt}$ are the desired HPBW value and obtained value of HPBW, respectively. I_{nf} is a penalty coefficient. f_{SLL} indicates the SLL of LAA that needs to be suppressed.

3. Metaheuristic Optimization Algorithms

3.1. Particle Swarm Algorithm (PSO)

Particle Swarm Algorithm (PSO) is one of the most well-known algorithms in the literature of optimization methods (Kennedy and Eberhart, 1995). This algorithm is inspired by the foraging behavior of bird and fish flocks in nature during migration, and the behavior of these swarms is mathematically modeled. Mathematical modeling of these swarms is made by taking into account the three characteristics of location, fitness value, and speed. The first parameter, position, specify the location of a member in this swarm in the search space. The second parameter, fitness value, is the value that indicates how suitable the birds in the flock are, determined by their proximity to the food. It updates the third parameter, its velocity, by taking into account the position of a bird in the flock in space and the position of the best bird in the flock in space. Accompanied by this information, the members of the herd share their positions with their herd and ensure that the herd moves towards the best positions. The swarm, on the other hand, moves by looking for a position where it is better than its previous position. Advantages of PSO: Derivative is not calculated in order not to get stuck in a local optimum and to reach the result faster. Because herd members share information with each other at all times, other members can use this information to better navigate towards the best positions. For more information on PSO, see the article by Kennedy and Eberhart (Kennedy and Eberhart, 1995).

3.2. Artificial Bee Colony (ABC)

The Artificial Bee Colony (ABC) (Karaboga and Basturk, 2009) optimization method is proposed by D. Karaboga in 2009. This method is one of the most well-known swarm-based algorithms in the literature. ABC method brought a different view to the foraging methods of bees by bringing some limitations in the search space. These limitations are kept equal to the number of members in the ABC and the number of bees. There are 3 types of bees, although there are 2 types of bees that have a duty and do not have a definite mission. The first type is worker bees, those who go to the source and bring food. The second type of onlooker bees determines which source they will go to in order to direct them and help collect resources faster. The third type is scout bees, bees that see their resources as insufficient, are bees that explore without being affected by any onlooker or attendant bees in order to find new resources. In addition, when the worker bees come to the hive after collecting food, they share information about the location and quality of the food source with the bees in the hive. Other bees also act in the presence of this information. By evaluating the quality of the honey in the source, the bees travel towards the best source, and thanks to this process, the bees approach the best result

quickly. These limitations made by D. Karaboga have presented a unique algorithm by keeping the number of food sources equal to the members of the artificial bee colony. For more information, see D. Karaboga et al. (Karaboga and Basturk, 2009).

3.3. Honey Badger Algorithm (HBA)

Honey Badger Algorithm (HBA) (Hashim et al., 2022) has been brought to the literature by being inspired by the foraging and hunting behavior of the creature known as the honey badger in nature. The honey badger is known for its fearlessness in nature and is found in some African deserts and rainforests; it is a species of creature found in Southwest Asia and India. It finds and hunts 67 different species, including dangerous snakes, with its search strategy. Honey is one of the favorite foods of the honey badger. This animal can use some tools to locate honey. Honey badger has 2 types of foraging and hunting in nature. The first is called the digging phase. Honey badger finds prey by searching for it with their strong sense of smell in the digging phase. It approaches its prey by digging and wandering around. The second stage is called the honey stage. At this stage, the honey badger's sense of smell is not enough to search for honey so needs a guide. The honey badger, which is guided by a bird, has a common search and hunting strategy with the pilot bird. In this strategy, the honey badger follows the guided bird. The guide undertakes the task of searching for birds. Who offers a different search strategy than honey badger, finds honey thanks to the guided bird. But the bird cannot reach honey. Here, the honey badger's ability to use tools comes into play and reaches honey. In this way, the honey badger completes the missing parts in the search areas where it is insufficient, thanks to a guided bird. In Ref. (Hashim et al., 2022) shows that the HBA has been applied to many engineering problems and good results have been obtained. The unique search and exploitation ability of the honey badger is calculated as follows:

$$Div_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N median(x^j) - x_i^j, \quad (4)$$

$$Div^t = \frac{1}{D} \sum_{j=1}^D Div_j, \quad t = 1, 2, \dots, t_{max} \quad (5)$$

i and j represent the order and size of the honey badger, respectively. x_i^j indicates the honey badger solution candidate. Div_j is the average variety for dimensions. Div^t is the average of this dimensional diversity (D) taken at the end of all iterations. The following equation is used to calculate the percentage of exploitation and explore after the variety is calculated:

$$Exploration\% = \frac{Div^t}{\max(Div)} \times 100; \quad (6)$$

$$Exploitation\% = \frac{|Div^t - \max(Div)|}{\max(Div)} \times 100 \quad (7)$$

t_{max} is expressed as $\max(Div)$ diversity in maximum iteration. For more information, see the work of Hashim, Fatma A., et al. (Hashim et al., 2022).

Each food or prey in the HBA ecosystem represents a possible solution to the LAA synthesis problem. In this case, each food or prey position resembles the optimal position of LAA elements. The food amount of each position mimics the SLL of the designed antenna. The higher the food or prey amount the better the SLL obtained. Flowchart of HBA is given in Figure 2.

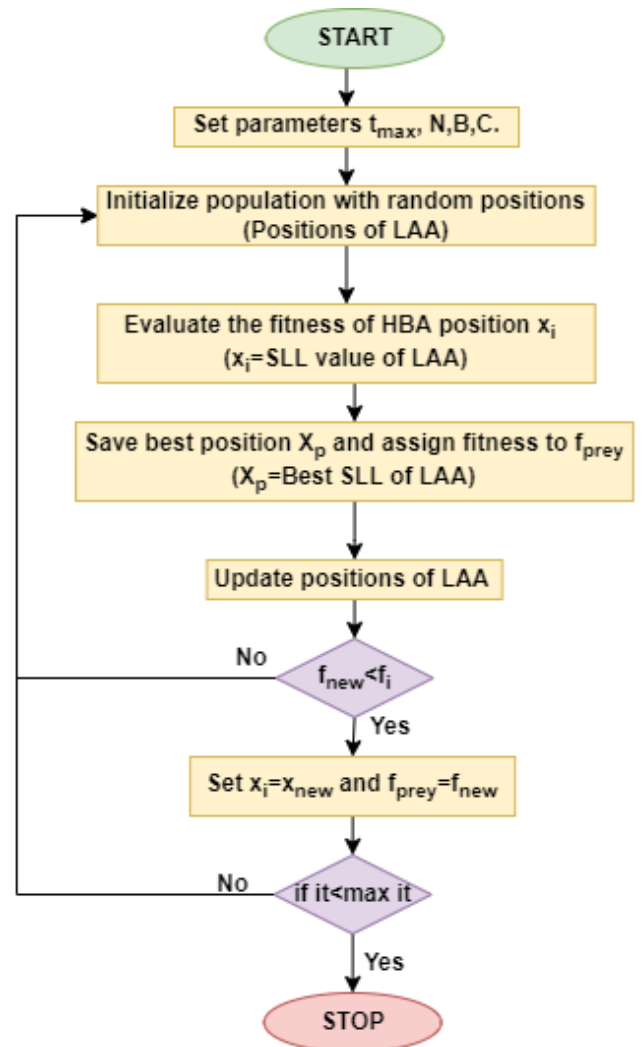


Figure 2. Flowchart of HBA

3.4. Chameleon Swarm Algorithm (CSA)

Known for their ability to change color to adapt to the environment, chameleons are good hunters. This feature makes chameleons a good explorers. The creators of the CSA mention that chameleons have a special explore the ability to discover their prey with this explore feature (Braik, 2021).

Another feature of chameleons is that their two eyes can move independently of each other. With wide-angle eyes, they can follow their prey while moving on the one hand. Chameleons can also use their tongues very quickly for hunting. Thanks to these abilities, it can be claimed to be a good hunter. The ability to use the tongue quickly can be likened to rapid convergence. They can also explore the search space well, with the ability of their eyes to explore 360 degrees. In this algorithm, two types of exploring and four types of hunting abilities are mentioned. Its exploring capabilities are desert explore and tree explore. Their first hunting ability is to turn their eyes back and converge quickly without attracting the attention of their prey. Its second ability is to turn its eye to the right and visually direct it preys. Its third ability is that it can hunt its prey from afar without getting close, thanks to its long tongue. Its fourth ability is to hunt by approaching its prey. With its exploration capability, this algorithm contributes to hunting by exploring the entire space. Dominating the entire space, the chameleon quickly converges towards its prey and has a fast convergence curve. Compared with a total of 67 non-comparison tests, including the Chameleon Swarm Algorithm (CSA) EC-2015 and CEC-2017 test suites. Researchers state that it is obtained very well from the tests in Ref (Braik, 2021). The CSA's explore can be calculated as follows:

$$Y_{t+1}^{i,j} = \begin{cases} Y_t^{i,j} + p_1(P_t^{i,j} - G_t^j)r_2 + p_2(G_t^j - Y_t^{i,j})r_1, & r_i \geq P_p \\ Y_t^{i,j} + \mu((u^j - l^j)r_3 + l_b^j)sgn(rand - 0.5), & r_i < P_p \end{cases} \quad (8)$$

i indicates the order of chameleon. t represents the number of iterations, while j symbolizes the problem size of the t . iteration. $Y_{t+1}^{i,j}$ and $Y_t^{i,j}$ refers to the position that will be in the next iteration and the current position, respectively. $P_t^{i,j}$ is the chameleon in the best position in the t . iteration. G_t^j , t . specifies the best position in all iterations up to the t . iteration. p_1 and p_2 are the numbers that exist to control the ability to reconnaissance. r_1, r_2 and r_3 random numbers selected in the range 0 through 1. P_p represents the possibility of chameleon hunting prey. $sgn(rand - 0.5)$ is the value that controls search and discovery capability in the range [-1,1]. μ is the parameter defined as a function of iterations. For more information, see the article of Malik Shehadeh Braik (Braik, 2021).

Each prey to be hunted by a chameleon in the CSA shows a candidate solution to the LAA synthesis problem which denotes the optimal position of LAA elements. The quality of the prey represents the SLL of the designed antenna. The higher the quality the better the SLL obtained. Flowchart of CSA is given in Figure 3.

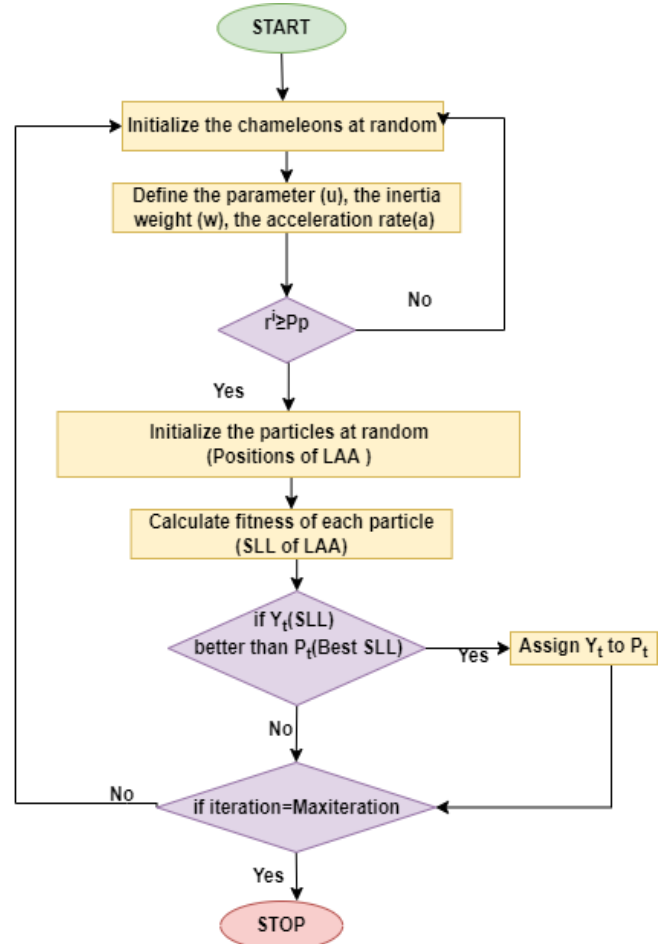


Figure 3. Flowchart of CSA

4. Numerical Results

In this study, LAA's with 10, 16, 24, and 32 elements are optimized and compared with 4 different metaheuristic optimization methods. The first two algorithms are swarm-based metaheuristic algorithms PSO and ABC. These swarm-based algorithms are well known in the literature. The other two algorithms are nature-based metaheuristic algorithms HBA and CSA. PSO and ABC algorithms are chosen because they are both swarm-based and one of the most well-known algorithms in the literature. Other algorithms are chosen because they are newly introduced to the literature. In order to test the performance of these new optimization methods in antenna array synthesis, antennas with different numbers of elements are investigated.

The aim in all simulations is to obtain the radiation pattern that achieves the minimum SLL values with fixed HPBW values. Simulations are made by a personal computer with an i5 processor at 2.5 GHz. In the optimization methods used in all simulation studies, the population size is determined as 50 and the maximum number of iterations is 500. The MATLAB software program is used for the analysis of all simulations.

Statistical comparisons of PSO, ABC, HBA, and CSA methods are made in terms of CPU time and SLL values. For this statistical analysis, all algorithms are randomly run 30 times. As a result of these runs, the best values and mean values are tabulated in terms of SLL and CPU time.

Table 1

The Statistical Values of SLL and CPU Time Obtained by Metaheuristic Optimization Methods

	Methods	PSO	ABC	HBA	CSA
10 Elements	SLL _{Best} (dB)	-21.355	-21.065	-21.430	-21.430
	SLL _{Mean} (dB)	-19.441	-20.247	-21.211	-20.809
	CPUT _{Min} (sec)	6.758	10.728	2.331	2.154
	CPUT _{Mean} (sec)	7.149	11.148	2.448	2.232
	CPUT _{Max} (sec)	7.807	12.053	2.753	2.580
16 Elements	SLL _{Best} (dB)	-24.579	-22.799	-24.826	-23.458
	SLL _{Mean} (dB)	-22.194	-22.240	-23.644	-22.643
	CPUT _{Min} (sec)	7.548	11.998	3.133	3.028
	CPUT _{Mean} (sec)	7.797	12.098	3.178	3.048
	CPUT _{Max} (sec)	8.133	12.566	3.218	3.101
24 Elements	SLL _{Best} (dB)	-26.173	-24.086	-26.515	-26.099
	SLL _{Mean} (dB)	-23.782	-23.173	-25.872	-24.065
	CPUT _{Min} (sec)	8.875	13.811	4.293	4.211
	CPUT _{Mean} (sec)	9.009	13.909	4.378	4.2686
	CPUT _{Max} (sec)	9.114	14.057	4.435	4.3231
32 Elements	SLL _{Best} (dB)	-25.232	-23.743	-25.423	-25.114
	SLL _{Mean} (dB)	-23.592	-22.989	-24.147	-23.166
	CPUT _{Min} (sec)	10.024	15.718	5.496	5.4139
	CPUT _{Mean} (sec)	10.201	15.804	5.591	5.495
	CPUT _{Max} (sec)	10.299	15.909	5.852	5.569

A comparison of four methods in terms of SLL and CPU time is given in Table 1. As shown in Table 1, the CSA method is faster than the other optimization techniques. When examined for the suppression of sidelobe levels, the results obtained by the HBA method are generally better than PSO, ABC, and CSA. The best SLL value for the 10-element LAA is obtained by the CSA algorithm. At

the same time, this algorithm achieved the optimum result faster than PSO, ABC, and HBA algorithms with 2.15 seconds. The HBA method found the best SLL value of -24.8261dB for the array with 16 elements. It reached this result in about 3.2 seconds. In the linear array with 24 elements, the HBA method reached the best SLL value. The HBA method reached the best SLL value in 4.29 seconds. Finally, in the 32-element linear array, the HBA method found the SLL value better than the other three optimization methods in 5.49 seconds. When we look at metaheuristic methods in general, the fastest method compared to other algorithms has been the CSA method. The method that achieved the best SLL value is the HBA method. In addition, HBA and CSA methods are much faster than PSO and ABC methods and produce better values. The position values of LAA obtained with PSO, ABC, HBA, and CSA are given in Table 2.

Table 2

The Positions of LAA Elements Obtained by Metaheuristic Optimization Methods

	Method	Position of LAA elements (d_1, d_2, \dots, d_n)
10 Elements	PSO	[0.3287 0.4080 0.9853 1.3782 2.0463]
	ABC	[0.3707 0.3707 0.9882 1.3716 2.0491]
	HBA	[0.3736 0.3736 1.0010 1.3945 2.0753]
	CSA	[0.3589 0.3610 0.9644 1.3435 1.9994]
	PSO	[0.1437 0.5472 0.6130 1.2200 1.3155 1.8745 2.3196 3.0091]
16 Elements	ABC	[0.2375 0.5203 0.9902 1.3452 1.8401 2.3203 2.9808 3.7430]
	HBA	[0.3390 0.3390 0.6981 1.2578 1.2932 1.8997 2.3360 3.0464]
	CSA	[0.1072 0.4870 0.7291 1.1064 1.4357 1.8527 2.3572 2.9865]
	PSO	[0.1417 0.4794 0.7390 1.0727 1.4707 1.6627 2.1890 2.4516 2.9830 3.4487 4.1356 4.9066]
	ABC	[0.0241 0.5402 0.7810 1.1629 1.5228 1.8772 2.3196 2.7078 3.1661 3.7285 4.3909 5.1390]
24 Elements	HBA	[0.3094 0.3094 0.7306 1.0910 1.2924 1.7086 2.0190 2.4000 2.8399 3.3109 3.9545 4.7147]
	CSA	[0.2040 0.4344 0.8208 1.1062 1.4964 1.7814 2.2445 3.0099 3.4808 3.9266 4.4680 5.09809]
	PSO	[0.1886 0.5935 0.9212 1.3643 1.6757 2.1449 2.5301 2.9816 3.3957 3.8569 4.4497 4.9975 5.5445 6.3796 7.2335 8.0756]
	ABC	[0.1480 0.6483 1.0024 1.4041 1.8720 2.3341 2.7026 3.2151 3.6673 4.2105 4.7801 5.3231 6.0406 6.8581 7.7682 8.4942]
	HBA	[0.0160 0.7334 0.7960 1.4105 1.6247 2.1738 2.5253 2.9774 3.4047 3.8513 4.4427 4.9725 5.5481 6.3888 7.2280 8.0959]
32 Elements	CSA	[0.1536 0.6081 0.9402 1.3590 1.7417 2.1169 2.5645 3.0009 3.4808 3.9266 4.4680 4.9916 5.6481 6.4891 7.2552 8.1626]

As can be seen from numerical results, the newly introduced HBA and CSA optimization methods have been very successful in suppressing the SLL of LAA's. The position values given in Table 2 are the data of the optimum radiation pattern obtained by four different metaheuristic methods, namely PSO, ABC, HBA, and CSA. The comparative radiation patterns obtained with the position values of the linear array with 10, 16, 24, and

32 elements are given in Table 2 are shown in Figure 4. Figure 5 shows the convergence curves of LAAs with the different numbers of elements obtained by 30 random runs. According to Figure 5, the convergence curves obtained with HBA are better than the other three methods. As can be seen from Figure 5, HBA and CSA methods reached the optimum result faster than PSO and ABC optimization method

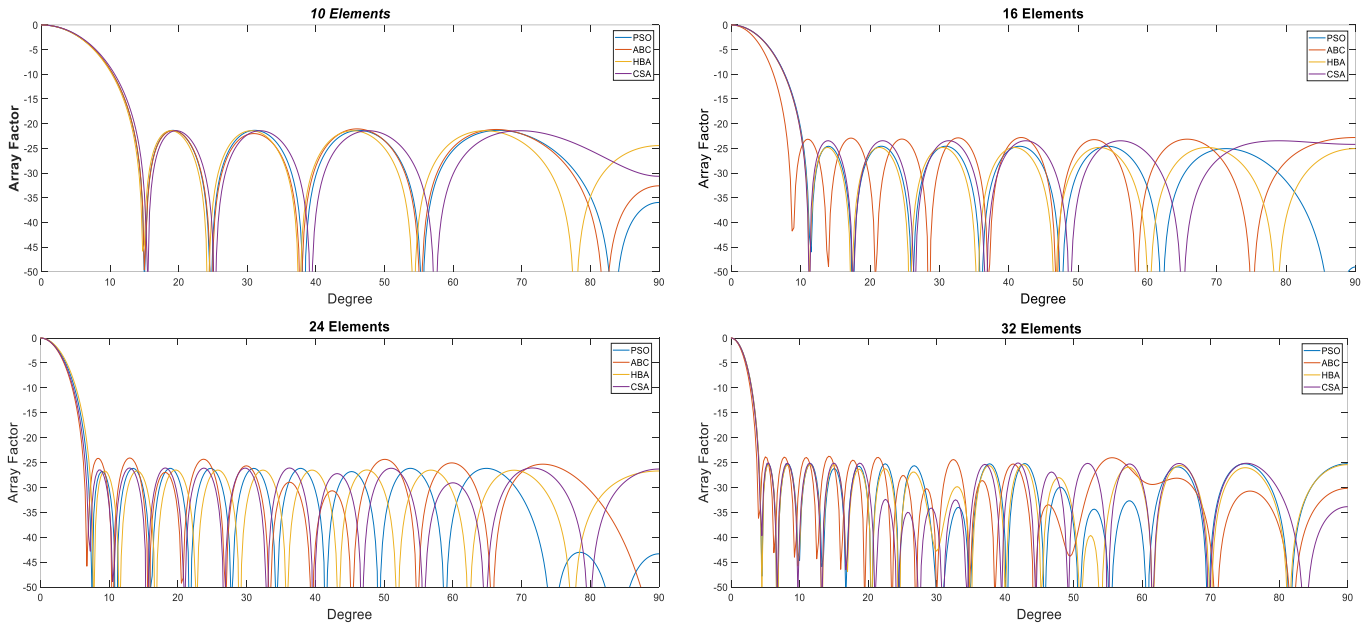


Figure 4. Radiation Patterns Obtained with PSO, ABC, HBA, and CSA for 10, 16, 24 and 32 Elements of LAA

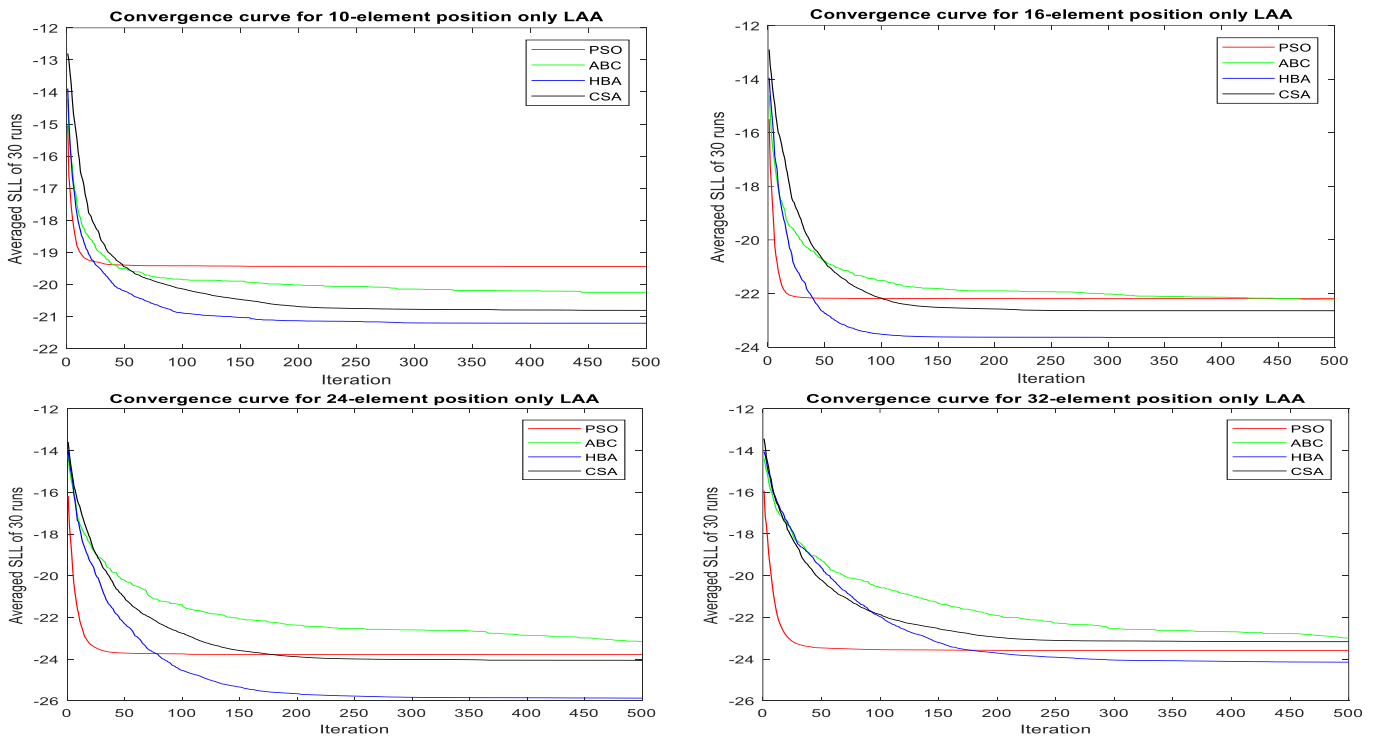


Figure 5. Convergence Curve Obtained with PSO, ABC, HBA and CSA for 10, 16, 24, and 32 Elements of LAA

5. Conclusion

In this study, the SLLs of LAAs are suppressed by four metaheuristic methods PSO, ABC, CSA, and HBA by controlling the positions only of the elements. The performances of the newly introduced HBA and CSA methods are compared with ABC and PSO. The results show that HBA and CSA methods obtained better SLL values than ABC and PSO. Moreover, HBA and CSA perform ~2x faster than PSO and ~3x faster than ABC compared to the CPU computation times. These methods have revealed that they can also be used for different antenna designs.

Contribution of Researchers

Ali DURMUS, contributed to determining the problem, revealing the original values of the study, and writing the article; Zafer YILDIRIM contributed to the literature review and the acquisition of experimental results from the computer environment.

Thanks

We would like to thank Kayseri University Scientific Research Projects Coordination Unit (KAYU/BAP). This work is supported by Kayseri University Scientific Research Projects Coordination Unit with the project numbered FYL-2021-1050.

Conflict of Interest

No conflict of interest is declared by the authors.

References

- Balanis, C. A. (Ed.). (2011). *Modern antenna handbook*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9780470294154>
- Braik, M. S. (2021). Chameleon Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for solving engineering design problems. *Expert Systems with Applications*, 174, 114685. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114685>
- Banerjee, S. M. I. T. A. & Dwivedi, V. V. (2013). Review of adaptive linear antenna array pattern optimization. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 2(1), 25-42.
- Chakravarthy, V. V. S. S. Chowdary, P. S. R. Panda, G. Anguera, J. Andújar, A. & Majhi, B. (2018). On the linear antenna array synthesis techniques for sum and difference patterns using flower pollination algorithm. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(8), 3965-3977. doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-017-2750-5>
- Durmus, A. Kurban, R. & Karakose, E. (2021). A comparison of swarm-based optimization algorithms in linear antenna array synthesis. *Journal of Computational Electronics*, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1007/s10825-021-01711-w>
- Ebrahimzade, A. Abedi, H. & Hesari, M. (2016). Gravitational Search Algorithm used to synthesis a planar array antenna for nulling control and side lobe level reduction. *In 2016 8th International Symposium on Telecommunications (IST)*, 391-395. IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/ISTEL.2016.7881848>
- Hashim, F. A., Houssein, E. H., Hussain, K., Mabrouk, M. S., & Al-Atabany, W. (2022). Honey badger algorithm: new metaheuristic algorithm for solving optimization problems. *Mathematics and Computers in Simulation*, 192, 84-110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2021.08.013>
- Karaboga, D., & Basturk, B. (2007). A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. *Journal of global optimization*, 39(3), 459-471. doi: <https://doi.org/10.1007/s10898-007-9149-x>
- Kaur, J. & Goyal, S. (2017). A Comparative study on linear array antenna pattern synthesis using evolutionary algorithms. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(5).
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995, November). Particle swarm optimization. *In Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, 4, pp. 1942. doi: <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>
- Khodier, M. (2019). Comprehensive study of linear antenna array optimisation using the cuckoo search algorithm. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 13(9), 1325-1333. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-map.2018.5649>
- Laseetha, T. J. & Sukanesh, R. (2012). Investigations on the synthesis of uniform linear antenna array using biogeography-based optimization techniques. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 4(2), 119-130. IEEE. doi: <https://doi.org/10.1504/IJBIC.2012.047186>
- Laseetha, T. J. & Sukanesh, R. (2011). Synthesis of linear antenna array using genetic algorithm to maximize side lobe level reduction. *International Journal of Computer Applications*, 20(7), 27-33. doi: <https://doi.org/10.1.1.206.4531>
- Li, X. Li, W. T. Shi, X. W. Yang, J. & Yu, J. F. (2013). Modified differential evolution algorithm for pattern synthesis of antenna arrays. *Progress in Electromagnetics Research*, 137, 371-388. doi: <https://doi.org/10.2528/PIER13011207>

- Liang, S. Fang, Z. Sun, G. Liu, Y. Qu, G. & Zhang, Y. (2020). Sidelobe reductions of antenna arrays via an improved chicken swarm optimization approach. *IEEE Access*, 8, 37664-37683. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2976127>
- Mangoud, M. A. A. & Elragal, H. M. (2009). Antenna array pattern synthesis and wide null control using enhanced particle swarm optimization. *Progress In Electromagnetics Research B*, 17, 1-14. doi: <https://doi.org/10.2528/PIERB09070205>
- Mirjalili, S. & Dong, J. S. (2020). Multi-objective optimization using artificial intelligence techniques. *Springer*. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-24835-2>
- Recioui, A. (2012). Side lobe level reduction in linear array pattern synthesis using particle swarm optimization. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 153(2), 497-512. doi: <https://doi.org/10.1007/s10957-011-9953-9>
- Saxena, P. & Kothari, A. (2016). Optimal pattern synthesis of linear antenna array using grey wolf optimization algorithm. *International Journal of Antennas and Propagation*. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/1205970>
- Shrivastava, S. & Cecil, K. (2012). Performance analysis of linear antenna array using genetic algorithm. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 2(5). doi: <https://doi.org/10.1.1.1065.9969>
- Shrivastava, S. (2013). Broadside linear antenna array synthesis using genetic algorithm. *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET)*, 2, 332-336. doi: <https://doi.org/10.1.1.1058.7409>
- Singh, U. & Salgotra, R. (2018). Synthesis of linear antenna array using flower pollination algorithm. *Neural Computing and Applications*, 29(2), 435-445. doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2457-7>
- Singh, U. & Salgotra, R. (2017). Pattern synthesis of linear antenna arrays using enhanced flower pollination algorithm. *International Journal of Antennas and Propagation*. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/7158752>

KESME HIZININ VE SU MUHTEVASININ KALICI KAYMA DAYANIMINA ETKİSİBurak Bahadır ŞAKAR^{1*}, Hasan SAVAŞ²¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-8175-9489>² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-3138-5308>

Anahtar Kelimeler	Öz
Kalıcı kayma dayanımı, Halka kesme deneyi, Kil.	<i>İnşaat mühendisliğinde zeminlerin kalıcı dayanım parametrelerinin belirlenmesi önemli bir yere sahiptir. Özellikle daha önce kayma hareketinin meydana geldiği şevler ile fisürlü ve sert kil zeminleri içeren şevlerin stabilite tahkiklerinde önem arz etmektedir. Kalıcı kayma dayanımına ulaşabilmek için çok büyük yer değiştirmeler gerekebilmektedir, bu yüzden kayma yüzeyleri var olan istinatların ve şevlerin stabiliteleri sadece kalıcı kayma dayanımları ile kontrol edilebilir. Bu çalışmada İstanbul, Çanakkale ve Eskişehir illerinden alınan örselenmiş numuneler üzerinde farklı hızlarda ve farklı su muhtevalarında halka kesme deneyleri yapılmıştır. Çalışmada kesme hızı ile su muhtevasının, zeminin kayma dayanım parametreleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla numuneler yavaş, orta ve yüksek hızlarda farklı normal gerilmeler altında kesilmiş, aynı işlemler yüksek ve düşük su muhtevası olmak üzere iki ayrı su içeriğinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde kesme hızının kalıcı içsel sürtünme açısı üzerinde çok fazla etkisinin olmadığı, başlangıç su muhtevası arttıkça kalıcı içsel sürtünme açısının arttığı ve likit limit, plastik limit, plastisite indisi ve kil yüzdesi arttıkça kalıcı içsel sürtünme açısının azaldığı gözlemlenmiştir.</i>

DETERMINATION OF RESIDUAL SHEAR STRENGTHS OF CLAYS BY RING SHEAR TESTS

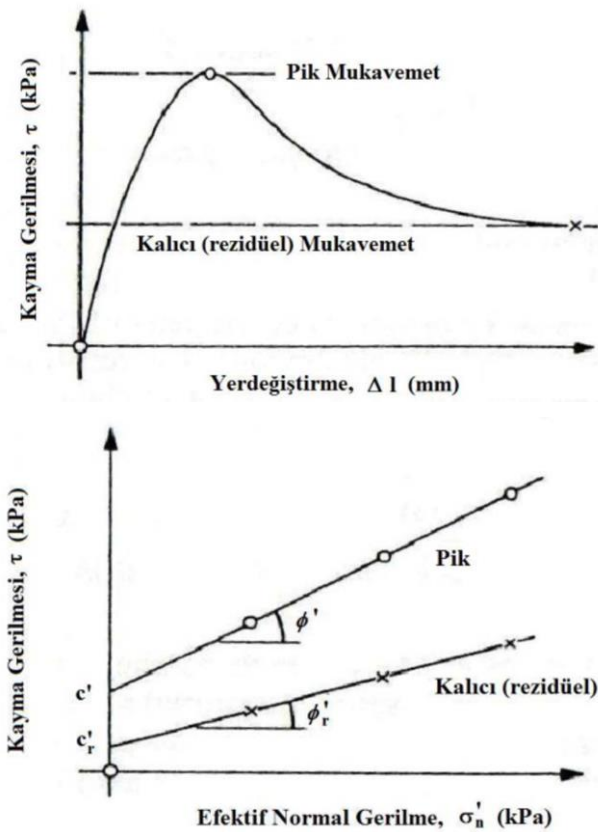
Keywords	Abstract
Residual shear strength, Ring shear test, Clay.	<i>In civil engineering determination of residual strength parameters for soils are very important. They are very important for stability verification especially slopes with preexisting slide surface and slopes that includes fissures, clayed soil. There must be very large displacements for determining residual shear strength, because of that stability of retainings and slopes with preexisting slide surface can be controlled by only residual shear strength. In this study ring shear tests are used for different shearing rates and different water contents on disturbed samples which obtained from İstanbul, Çanakkale and Eskişehir. Effects of this variables on soils shear strength parameters are aimed to investigate. Therefore samples were sheared under different normal stresses with slow, medium and fast shearing rates, the same processing were carried out with two different water contents which are high and low content. When obtained results were considered we can say that shearing rates have no effect on residual friction angles, when initial water content increases residual friction angles increases and when liquid limit, plastic limit, plasticity index and clay percentage increases residual friction angles decreases.</i>
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 04.11.2021	Submission Date : 04.11.2021
Kabul Tarihi : 09.12.2021	Accepted Date : 09.12.2021

* 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/>).

1. Giriş

İnşaat mühendisliğinde zeminlerin kalıcı dayanım parametrelerinin belirlenmesi önemli bir yere sahiptir. Özellikle daha önce kayma hareketinin meydana geldiği şevler ile fisürlü ve sert kil zeminleri içeren şevlerin stabilite tahkiklerinde önem arz etmektedir (Mitchell ve Soga, 2005). Aşırı konsolide killerde ve sıkı kumlarda pik dayanıma ulaştıktan sonra, artan kayma deformasyonları ile kayma gerilmesi azalmaya başlamaktadır. Büyük deformasyonlar sonrasında ise Şekil 1'de görüldüğü üzere sabit bir değerde kalmaktadır. Sabit kalan bu değer, kalıcı kayma dayanımı olarak tanımlanmakta olup, efektif normal gerilme, mineraloji, dane çapı dağılımı ve kesme hızına bağlıdır.



Şekil 1. Pik ve Kalıcı Kayma Dayanımları İle Göçme Zarfları

Kalıcı kayma dayanımına ulaşabilmek için çok büyük yer değiştirmeler gerekebilmektedir, bu yüzden kayma yüzeyleri var olan istinatların ve şevlerin stabiliteyi sadece kalıcı kayma dayanımları ile kontrol edilebilir. İlk defa kayma yüzeyi oluşacak durumlarda ise pik ve kalıcı dayanımlar arasında kalan ortalama bir değer ile kontrol sağlanabilir. Tam kalıcı duruma ulaşabilmek için çok büyük yer değiştirmelere olanak sağlayan halka

kesme deneyi 1971 yılında Bishop ve diğerleri tarafından geliştirilmiştir (Mitchell ve Soga, 2005).

Kalıcı kayma dayanımını etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Birçok farklı parametrenin kalıcı kayma dayanımını farklı yönlerde etkilediği gözlemlenmiştir. Likit limitin artmasının kalıcı kayma dayanımını azalttığı (Stark ve Eid, 1994), kalıcı kayma dayanım açısını düşürdüğü (Ataç, 2009; Koltuk, 2005; Ürkmez, 2009) ve %30 üzeri likit limite sahip zeminlerde kalıcı içsel sürtünme açıları arasında büyük farklar olduğu (Stark ve Eid, 1997) görülmüştür. Plastik limit arttıkça kalıcı kayma dayanım açısının düştüğü de (Ürkmez, 2009) bulunan sonuçlar arasındadır. Plastisite indisi arttıkça kalıcı kayma dayanım açısının düştüğü (Ataç, 2009; Koltuk, 2005; Ürkmez, 2009), yüksek plastisiteli zeminlerin, düşük plastisiteli zeminlere göre daha yüksek kalıcı kayma dayanımı kazandığı (Stark ve Hussain, 2010) ve yüksek plastisiteli zeminlerde düşük kesme hızlarının kalıcı kayma dayanımına olan etkisinin büyük olduğu (Bhat, Yatabe ve Bhandary, 2014) sonucuna varılmıştır. Ayrıca kullanılan numunenin özelliklerine bağlı olarak dane çapı arttıkça kalıcı kayma dayanımının azaldığı (Stark ve Eid, 1994), kil yüzdesi arttıkça kalıcı kayma dayanım açısının düştüğü (Koltuk, 2005; Ürkmez, 2009) ve aşırı konsolide oranı arttıkça daha yüksek pik içsel sürtünme katsayısı bulunduğu (Vithana, Gibo, Nakamura ve Kimura, 2010) yapılan deneyler sonucunda gözlemlenmiştir. Deneyler esnasında efektif normal gerilmeler değiştiği ve kalıcı kayma açılarının değiştiği (Eid, Al-Nohmi, Wijewickreme ve Amarasinghe, 2019), efektif normal gerilme arttıkça kalıcı içsel sürtünme açısının azaldığı (Dewoolkar ve Huzjak, 2005) ve yüksek normal gerilmelerde içsel sürtünme açısının sabit bir değer aldığı (Tiwari, Brandon, Marui ve Tuladhar, 2005) görülmüştür. Deneyler yapılırken kesme hızını artırınca kalıcı kayma dayanım açısının düştüğü (Koltuk, 2005) ve kesme oranı yükseltince kalıcı kayma dayanımının azaldığı (Tiwari, Tuladhar ve Marui, 2011) bulunan diğer sonuçlar arasındadır. Ayrıca pik kayma dayanım açısı arttıkça kalıcı kayma dayanımının arttığı da görülmüştür (Ürkmez, 2009). Benzer numunelerin benzer dayanımları vermeleri beklenirken farklı deney aletlerinde büyük ölçüde değişken sonuçların çıkmasının nedeninin deney aletlerinin farklılığı ve numunenin sıkıştırılması olduğu anlaşılmıştır (Watry ve Lade, 2000). Deney aletlerinin farklılığı göz önünde bulundurularak tekrarlı kesme kutusunda bulunan parametrelerin halka kesme kutusunda bulunan parametrelerden daha yüksek olduğu savunulmuştur (Ataç, 2009; Koltuk, 2005).

Bu çalışmada İstanbul, Çanakkale ve Eskişehir illerinden alınan örselenmiş numuneler üzerinde farklı hızlarda ve farklı su muhtevalarında halka kesme deneyleri yapılmıştır. Hesaba katılan değişkenlerin, zeminin kayma dayanım parametreleri üzerindeki etkilerinin

incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda numuneler yavaş, orta ve yüksek hızlarda farklı normal gerilmeler altında kesilmiş, aynı işlemler yüksek ve düşük olmak üzere iki ayrı su muhtevasında gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada kullanılan zemin örnekleri İstanbul, Çanakkale ve Eskişehir illerinden alınmış olup, örnekler üzerinde öncelikle tanımlama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tanımlama deneyleri kapsamında ıslak elek analizi, hidrometre, kıvam limitleri, özgül ağırlık ve kompaksiyon deneyleri yapılmış olup elde edilen sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. Kayma dayanım parametreleri ise, örselenmiş numuneler üzerinde halka kesme deneyleri ile belirlenmiştir.

Numunelerin halka kesme deneyleri ile bulunan kalıcı dayanımları, su muhtevası ve hız değişkenleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Halka kesme deneylerinde 0.027 der/dak, 0.135 der/dak ve 1.350 der/dak hız değerleri kullanılmıştır. Ayrıca deneylerin bir seti plastik limit su muhtevasında hazırlanırken diğer bir set için optimum+3 su muhtevası kullanılmıştır. İstisnai olarak Çanakkale numunesinde optimum+3 su muhtevası değeri plastik limit su muhtevasına denk geldiği için bu numunede optimum su muhtevasında çalışılmıştır ve tüm deneylerde su içeriğinin kalıcı kayma dayanımları üzerine etkisi de incelenmiştir. Kullanılmış olan su muhtevaları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 1

Numunelerin Tanımlama Deney Sonuçları

Numune adı	Likit Limit (w_L)	Plastik Limit (w_P)	Plastisite İndisi (I_P)	Dane Özgül Ağırlığı (γ_s)	Optimum Su Muhtevası (W_{opt})	Kil Yüzdesi (K.Y.)	Zemin Sınıfı
N1 - İstanbul	84.78	36.22	48.56	2.78	27.91	81.00	CH
N2 - Çanakkale	36.65	19.37	17.28	2.67	16.10	23.00	CL (Kumlu)
N3 - Eskişehir	52.61	26.41	26.20	2.65	27.88	37.00	CH

Tablo 2

Deneylerde Kullanılan Su Muhtevaları

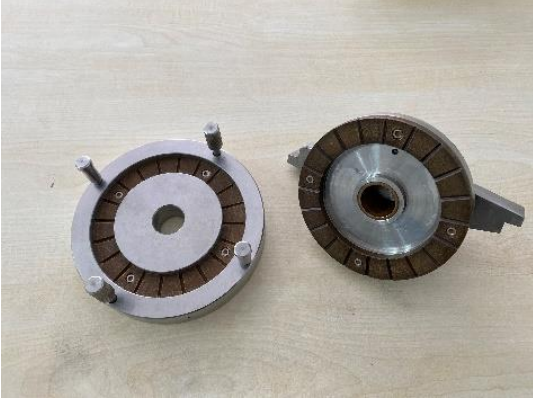
Numune adı	Plastik Limit (w_P)	Optimum Su Muhtevası (W_{opt})	Optimum+3 Su Muhtevası (W_{opt})	Yüksek Alınan Su Muhtevası (w)	Düşük Alınan Su Muhtevası (w)
N1 - İstanbul	36.22	27.91	30.91	36.22	30.91
N2 - Çanakkale	19.37	16.10	19.10	19.37	16.10
N3 - Eskişehir	26.41	27.88	30.88	30.88	26.41

Killerin kalıcı kayma dayanımları araştırılırken en tatmin edici deney halka kesme deneyidir. Deney yapılırken drenajın sağlanabilmesi için numunenin olabildiğince yavaş kesilmesi gerekmektedir. Yer değiştirme devam ettikçe kayma dayanımı düşmeye başlar ve yüksek deformasyonlar sonucu zemin kritik düzeyin altına düştüğünde kalıcı kayma dayanım değerini almış olur (Craig, 2004). Bu çalışmada 1979 yılında modellenmiş olan Bromhead tipi halka kesme deney aleti kullanılmıştır. Halka kesme deney aleti numuneyi dairesel olarak kestiği için deformasyonun çok büyük mesafelere ulaşabilmesi, kalıcı kayma dayanımlarının en gerçekçi tespitinde büyük avantaj sağlamaktadır. Numune kalıbı Şekil 2 (a)’da görüldüğü

üzere dış yarıçapı 50 mm, iç yarıçapı 35 mm ve yüksekliği 5 mm olan bir alt başlık ile dişli yüzeye sahip olan üst başlıktan oluşmaktadır.

Numune istenilen su muhtevasına getirildikten sonra kalıbın alt başlığına yerleştirilmiştir. Alt başlık, Şekil 2 (b)’de gösterilen halka kesme deney aletinin kesme haznesine yerleştirildikten sonra sabitleme vidaları ile hareket etmesi engellenmiştir. Numune üzerinde hiçbir kayma yüzeyi oluşturmayacak biçimde üst başlık yerleştirilip, yük kolu ve düşey deformasyon okuyucu hizaya getirilmiştir. Numuneler 100 kPa, 200 kPa, 250 kPa ve 300 kPa normal gerilmeler altında konsolide edilmiştir. Su muhtevası başlangıç su muhtevası olup, kesme sırasında tüm numuneler suya doymuş hale

getirilecek şekilde kesme kabı tamamen su ile doldurulmuş ve suya doymun olacak şekilde konsolidasyon sağlanmıştır. Konsolidasyon sona erdiğinde 0.027 der/dak, 0.135 der/dak ve 1.350 der/dak olmak üzere üç farklı hızda kesmeye maruz bırakılmıştır. Numunenin dairesel bir dönmeye 50 mm deformasyon oluşturularak kesilip en doğru kalıcı kayma dayanımına ulaşması amaçlanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 2. (a) Halka Kesme Numune Kalıbı, (b) Halka Kesme Deney Aleti

Yapılan deneyler sonucu kesme haznesinden çıkarılmış olan bir adet numunenin kesme yüzeyi kesiti Şekil 3'te gösterilmiştir.

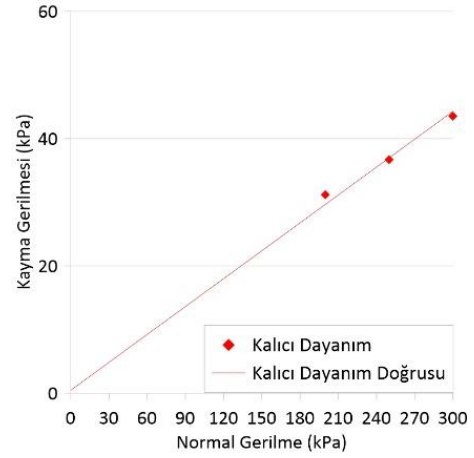
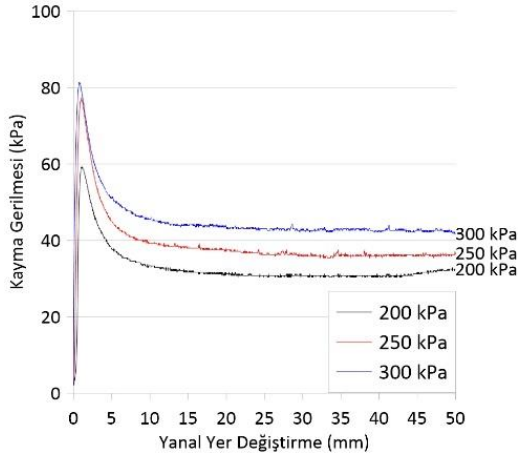


Şekil 3. Halka Kesme Deney Aletinde Kaymaya Maruz Bırakılmış Numune Kesiti

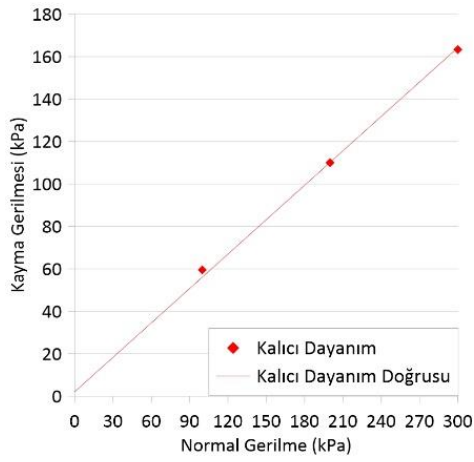
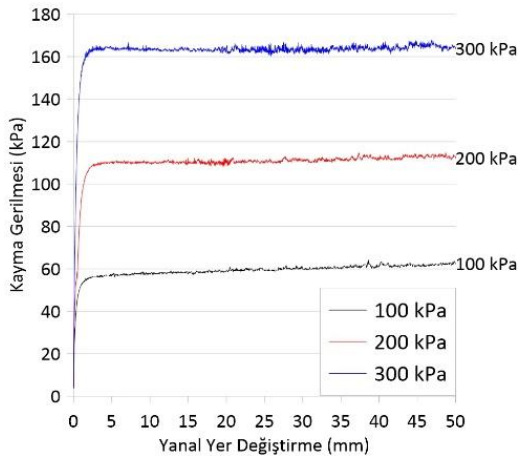
3. Bulgular

Kayma dayanımı deneyleri sonucunda zeminin başlangıç su muhtevası ve yükleme hızına bağlı olarak kalıcı dayanım parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Farklı normal gerilmeler altında tekrarlanan deneylerden göçme zarfları oluşturularak kohezyon ile içsel sürtünme açıları bulunmuştur. 100 kPa, 200 kPa, 250 kPa ve 300 kPa normal gerilmeler altında gerçekleştirilen deneylerden göçme zarfına uyumsuz olanlar öncelikle tekrarlanmış, hala uyumsuzluk belirlendiyse deney bütününden çıkarılmıştır. Aşağıdaki bölümlerde deney sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir.

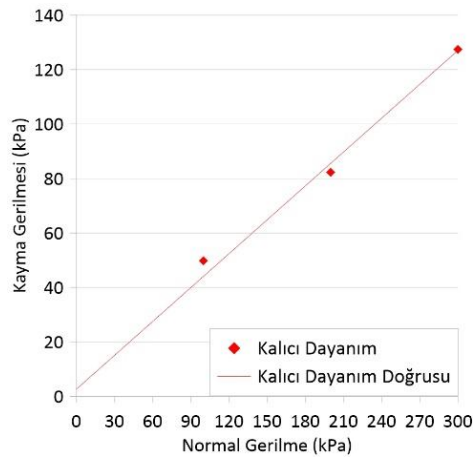
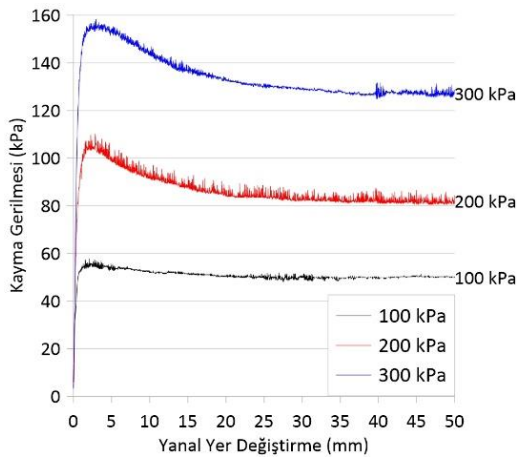
Halka kesme deney aletinin çalışma prensibinden dolayı yapılmış olan deneyler sonucu direkt olarak kalıcı kayma dayanımları bulunarak gerekli kayma parametrelerine ulaşılmıştır. Deneylerde kohezyonu sıfır değerine indirmek pratikte mümkün olmamaktadır fakat sonuçlar değerlendirildiğinde bulunmuş olunan kohezyon değerleri neredeyse yok denecek kadar küçük çıkmıştır. 100 kPa, 200 kPa, 250 kPa ve 300 kPa normal gerilme değerleri kullanılarak ulaşılmış olan kayma dayanımı ve göçme zarfı grafikleri 0.027 der/dak hızında yüksek ve düşük başlangıç su muhtevalarında olmak üzere Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.



(a)

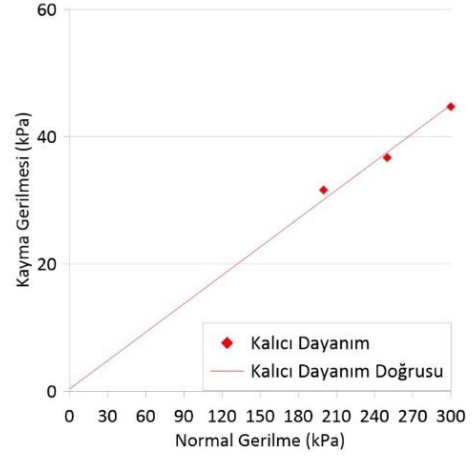
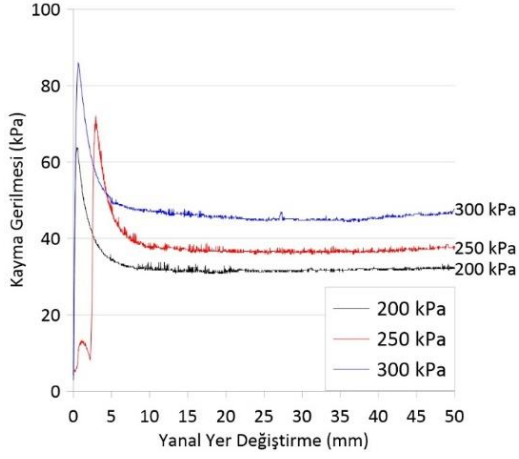


(b)

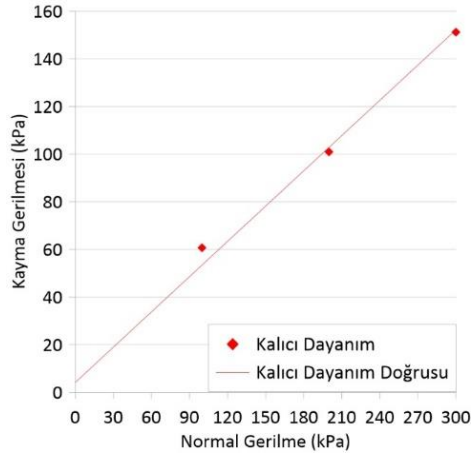
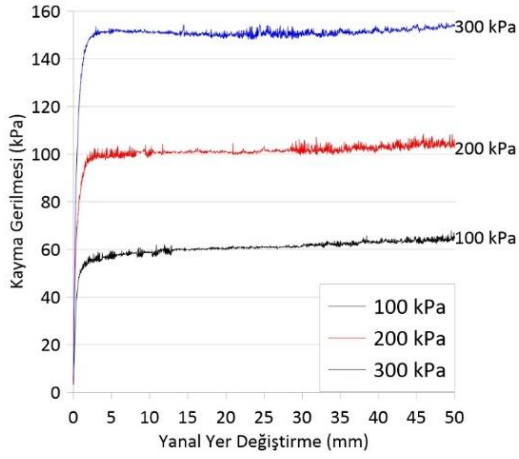


(c)

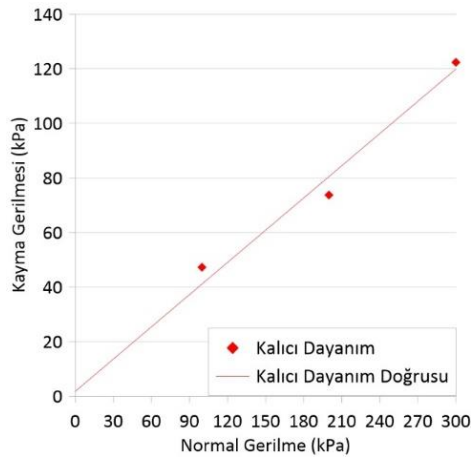
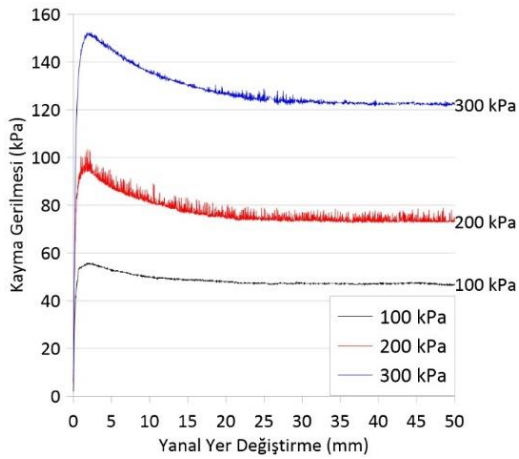
Şekil 4. Yüksek Su Muhtevasında Hazırlanan ve 0.027 der/dak Kesme Hızında Yapılan Deney Sonuçları (a) N1 - İstanbul (b) N2 - Çanakkale (c) N3 - Eskişehir



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. Düşük Su Muhtevasında Hazırlanan ve 0.027 der/dak Kesme Hızında Yapılan Deney Sonuçları (a) N1 - İstanbul (b) N2 - Çanakkale (c) N3 - Eskişehir

Grafiklerden bulunan kayma parametreleri düzenlenip numunelerin kesme hızlarına göre kohezyon ve kalıcı içsel sürtünme açısı değerleri Tablo 3 ve Tablo 4'te sunulmuştur.

Elde edilen verilerle kohezyonun ve kalıcı içsel sürtünme açısının su muhtevası ve kesme hızına göre değişimlerini gösteren Şekil 6 ve Şekil 7 oluşturulmuştur.

Bulunan sonuçlara bakıldığında kohezyon beklenildiği gibi sıfır değerine çok yakın gelmiştir ve kalıcı kayma dayanım parametrelerini bulurken diğer deney yöntemlerine kıyasla halka kesme deneyinin daha güvenilir olduğunu ortaya koymuştur. Kalıcı içsel sürtünme açılarına bakıldığında her numune yüksek ve düşük muhtevalar kendi içinde değerlendirilirse tüm hızlarda bir istisna dışında 1°den daha küçük değişimler göstermiştir. Aynı şekilde iki muhtevada gerçekleştirilen tüm deneylere bakıldığında yine tek bir istisna dışında tüm deney sonuçlarında bulunan kalıcı içsel sürtünme açıları arasındaki en yüksek fark 2.5°den daha küçük olmaktadır. Ortaya çıkan istisnai durum ise tek bir numunede, tek bir başlangıç su muhtevasında yüksek hızla gerçekleştirilen bir deney serisi olduğundan dolayı deney hızının böyle bir sapmaya neden olduğu düşünülmektedir. Bu sapma dışında kesme hızının kalıcı içsel sürtünme açısına olan etkisi gözlemlenememiştir fakat büyük çoğunlukla başlangıç su muhtevasının yüksek alınmasının kalıcı içsel sürtünme açısını arttırdığı görülmüştür. Numunelerin karakteristik özellikleri göz önüne alındığında ise likit limit, plastik limit, plastisite indisi ve kil yüzdesi arttıkça kalıcı içsel sürtünme açısının azaldığı bulunan sonuçlar arasındadır.

Tablo 3

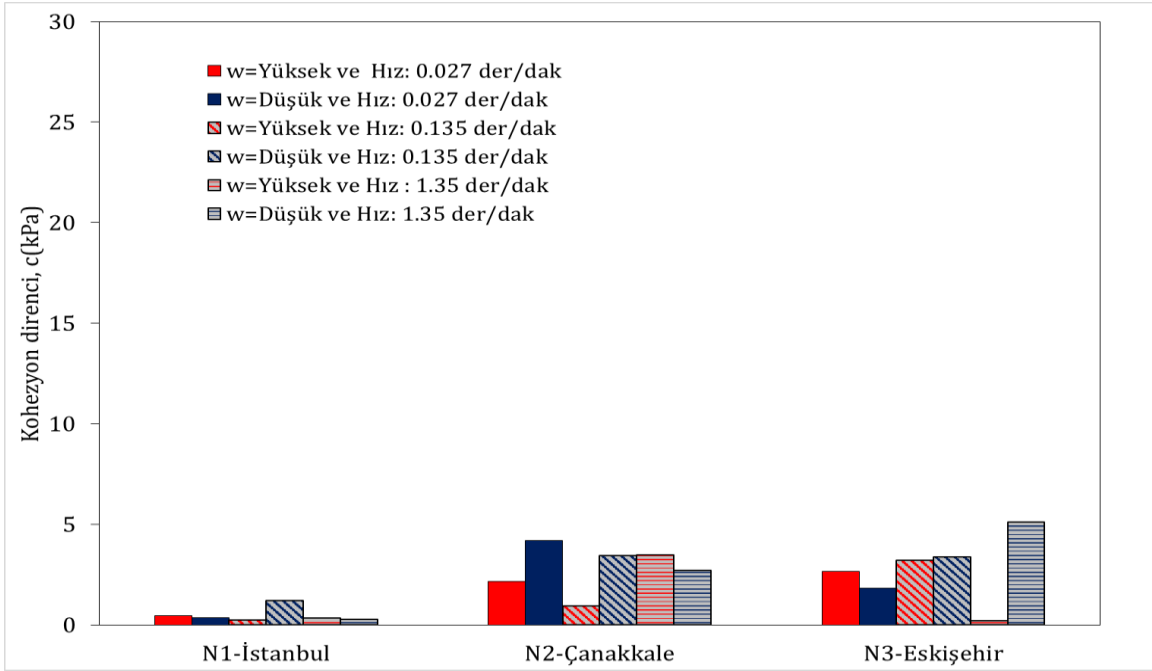
Yüksek Su Muhtevasında Hazırlanan Numunelerin Kesme Hızına Bağlı Kalıcı Dayanım Parametreleri

Numune adı	Kesme Hızı	c_r	ϕ_r
N1 - İstanbul	0.027	0.46	8.31
	0.135	0.24	8.88
	1.350	0.35	8.40
N2 - Çanakkale	0.027	2.15	28.39
	0.135	0.94	28.41
	1.350	3.49	27.49
N3 - Eskişehir	0.027	2.67	22.52
	0.135	3.22	22.28
	1.350	0.21	26.52

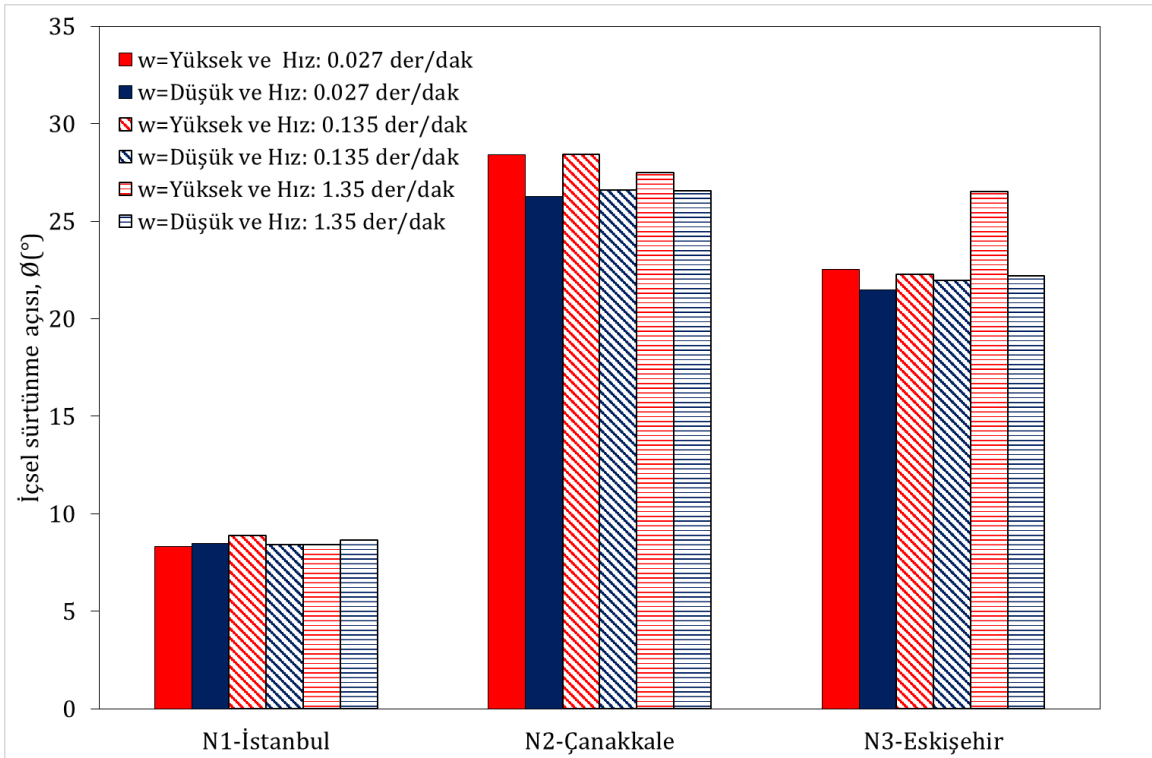
Tablo 4

Düşük Su Muhtevasında Hazırlanan Numunelerin Kesme Hızına Bağlı Kalıcı Dayanım Parametreleri

Numune adı	Kesme Hızı	c_r	ϕ_r
N1 - İstanbul	0.027	0.36	8.46
	0.135	1.20	8.41
	1.350	0.26	8.65
N2 - Çanakkale	0.027	4.19	26.26
	0.135	3.45	26.61
	1.350	2.70	26.54
N3 - Eskişehir	0.027	1.82	21.49
	0.135	3.36	21.95
	1.350	5.11	22.18



Şekil 6. Kohezyon Direncinin Su Muhtevası ve Kesme Hızına Göre Değişimi



Şekil 7. Kalıcı İçsel Sürtünme Açısının Su Muhtevası ve Kesme Hızına Göre Değişimi

4. Sonuçlar

İnce dane ağırlıklı zeminler üzerinde farklı su muhtevalarında hazırlanan numuneler farklı kesme hızları altında göçmeye maruz bırakılarak kayma dayanım parametreleri elde edilmiştir. Halka kesme deney aleti ile tekrarlanan deneyler sonucu elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Çok yüksek olmamak şartıyla kesme hızının halka kesme deney aletinde kalıcı içsel sürtünme açısı üzerinde fazla etkisi yoktur.
- Yüksek başlangıç su muhtevası kullanıldığında kalıcı içsel sürtünme açısı artmıştır.
- Likit limit, plastik limit, plastisite indisi ve kil yüzdesi arttıkça kalıcı içsel sürtünme açısı azalmıştır.

Tüm bu sonuçlar ışığında kalıcı kayma dayanım parametreleri bulunacak olduğunda halka kesme deneyinin uygulanmasının daha sağlıklı olduğu görülmüştür. Kesme hızlarının dayanım parametreleri üzerine etkisi araştırılırken daha farklı dane çapları içeren birçok zemin tipinin kullanılması ve daha güvenilir sonuçlara ulaşmak için daha farklı kesme hızlarında deneylerin tekrarlanarak yüksek kesme hızlarından kaçınılması önerilmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırma birinci yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Bu çalışmada; Burak Bahadır ŞAKAR, deneylerin yapılması, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, verilerin yorumlanması, bilgisayar ortamına aktarılması; Hasan SAVAŞ, bilimsel yayın araştırması, verilerin yorumlanması, makalenin genel kontrolünün yapılması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. Ayrıca bu makalede araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Ataç, A. E. (2009). *Plastisitenin kalıcı kayma mukavemetine etkisi (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bhat, D. R., Yatabe, R. ve Bhandary, N. P. (2014). Slow shearing rates' effect on residual strength of landslide soils. *Soil Behavior and Geomechanics*,

(236), 293-303.
doi:10.1061/9780784413388.030

- Craig, R. F. (2004). *Craig's soil mechanics* (Seventh.). London: Spon Press.
- Dewoolkar, M. M. ve Huzjak, R. J. (2005). Drained residual shear strength of some claystones from Front Range, Colorado. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(12), 1543-1551. doi: 10.1061/(asce)1090-0241(2005)131:12(1543)
- Eid, H. T., Al-Nohmi, N. M., Wijewickreme, D. ve Amarasinghe, R. S. (2019). Drained peak and residual interface shear strengths of fine-grained soils for pipeline geotechnics. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 145(10), 06019010-1-7. doi: 10.1061/(asce)gt.1943-5606.0002131
- Koltuk, S. (2005). *Zeminlerin kalıcı kayma mukavemetinin halka kesme deneyi ile belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mitchell, J. K. ve Soga, K. (2005). *Fundamentals of soil behavior* (Third.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1097/00010694-199407000-00009
- Stark, T. D. ve Eid, H. T. (1994). Drained residual strength of cohesive soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120(5), 856-871. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:5(856)
- Stark, T. D. ve Eid, H. T. (1997). Slope stability analyses in stiff fissured clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(4), 335-343. doi: 10.1061/(ASCE)1090-0241(1997)123:4(335)
- Stark, T. D. ve Hussain, M. (2010). Shear strength in preexisting landslides. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(7), 957-962. doi:10.1061/(asce)gt.1943-5606.0000308
- Tiwari, B., Brandon, T. L., Marui, H. ve Tuladhar, G. R. (2005). Comparison of residual shear strengths from back analysis and ring shear tests on undisturbed and remolded specimens. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(9), 1071-1079. doi:10.1061/(asce)1090-0241(2005)131:9(1071)
- Tiwari, B., Tuladhar, G. R. ve Marui, H. (2011). Effect of shearing speed on residual shear strength of natural soil obtained from mudstone. *Geo-Frontiers* 2011, 2786-2793. Doi: 10.1061/41165(397)285

Ürkmez, A. R. (2009). *Kalıcı kayma mukavemetinin tekrarlı kesme kutusu deney yöntemi ile belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Vithana, S. B., Gibo, S., Nakamura, S. ve Kimura, S. (2010). Influence of laboratory-created OCR on large deformation shear strength: ring shear behaviour of two types of landslide slip surface soil. *GeoFlorida 2010*, (199), 3165-3174. doi:10.1061/41095(365)323

Watry, S. M. ve Lade, P. V. (2000). Residual shear strengths of bentonites on Palos Verdes Peninsula, California. *Slope Stability 2000*, 323-342. doi:10.1061/40512(289)24

AYRIK KOSİNÜS DÖNÜŞÜMÜ DC BİLEŞENLERİ VE ÇOKLU-ADAPTİF ÖLÇEKLEME FAKTÖRLERİ KULLANILARAK DAYANIKLI GÖRÜNTÜ DAMGALAMA

Rifat KURBAN^{1*}, Hakkı BOZPOLAT^{2,3}

¹Kayseri Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kayseri

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-0277-2210>

²Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Müh. Anabilim Dalı, Kayseri

³TÜBİTAK, Bilişim ve Bilgi Güvenliği İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi, Gebze, Kocaeli

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-6189-4103>

Anahtar Kelimeler	Öz
Görüntü işleme, sayısal damgalama, ayırık kosinüs dönüşümü, dayanıklı damgalama, DC bileşenler	Son yıllarda internet kullanımında hem kullanıcı sayısının hem de bağlantı hızlarının artması nedeniyle sayısal bilgilerin çoğaltılması ve işlenmesi yaygın hale gelmiştir. Bu nedenle dijital resimlerin kopyalanma riskine karşı korunması ihtiyacı doğmuştur. Telif hakkının korunması için önerilen yöntemlerden birisi de sayısal görüntünün damgalanmasıdır. Bu çalışmada, ayırık kosinüs dönüşümü (AKD) uzayında katsayıların değiştirilmesiyle dayanıklı bir sayısal damgalama yöntemi gerçekleştirmek ve mevcut yöntemlerin başarımını arttırmak amaçlanmıştır. Çoklu-adaptif ölçekleme faktörleri kullanan önerilen yöntemde, damgalanacak görüntünün tüm blokları uzaysal resim frekansı (URF) metriği ile değerlendirilmiş ve her bloğa doku miktarıyla orantılı olarak bir ölçekleme faktörü atanmıştır. Böylece, damgalanan görüntünün en az bozulmayla ataklara karşı en fazla dayanımı göstermesi amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde, önerilen çoklu-adaptif ölçekleme faktörü kullanan damgalama yönteminin sabit ve ikili-adaptif ölçekleme faktörü kullanan yöntemlere göre aynı saydamlık düzeyinde ataklara karşı daha başarılı olduğu görülmüştür.

ROBUST IMAGE WATERMARKING USING DISCRETE COSINE TRANSFORM DC COMPONENTS AND MULTI-ADAPTIVE SCALING FACTORS

Keywords	Abstract
Image processing, digital watermarking, discrete cosine transform, robust watermarking, DC components	In recent years, processing and deployment of digital information has become common, due to the increase in both the number of users and connection speeds in internet use. Therefore, the need to protect digital pictures against the risk of copying has arisen. One of the recommended methods for copyright protection is the watermarking of digital images. In this study, it is aimed to perform a robust digital watermarking method by changing the coefficients in the discrete cosine transform (DCT) domain and to increase the performance of the existing methods. In the proposed method by using multiple adaptive scaling factors, all blocks of the input image are evaluated with the spatial frequency (SF) metric and each block is assigned by a scaling factor proportional to the amount of texture. Therefore, it is aimed that watermarked images exhibit maximum resistance against attacks with minimum deformation. In the experiments performed, it is seen that the proposed multiple adaptive scaling factors method is more efficient against the attacks at the same transparency level than the methods using fixed and dual-adaptive scaling factors.
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 17.11.2021	Submission Date : 17.11.2021
Kabul Tarihi : 20.01.2022	Accepted Date : 20.01.2022

1. Giriş

Son yıllarda cep telefonları, dijital kameralar gibi ürünlerin hayatımıza girmesiyle sayısal teknolojideki hızlı gelişmenin ardından sayısal verilerin iletimi oldukça yaygın bir hâle gelmiştir (Wang ve Sun, 2000).

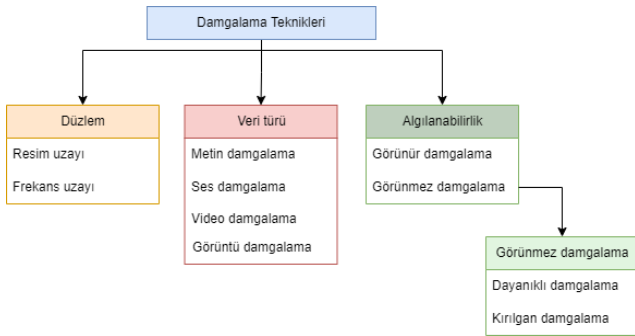
Bununla beraber resim, ses ve video gibi birçok sayısal olarak saklanan ve rahatlıkla paylaşılabilen verinin telif haklarının korunması önemli hâle gelmiştir (Langelaar, Setyawan ve Lagendijk, 2000). Telif hakkının korunması için önerilen yöntemlerden birisi de sayısal görüntülerin damgalanmasıdır (Wolfgang ve Delp,).

* Sorumlu yazar; e-posta : rifatkurban@kayseri.edu.tr

Sayısal damgalama, bir sayısal verinin damga olarak başka bir sayısal veriye kalıcı olarak saklanması şeklinde tanımlanır. Literatürde görüntü damgalama işlemi için birçok teknik geliştirilmiştir (Lee ve Jung 2001). Sayısal damgalama yöntemleri, telif haklarının korunması, veri bozulma kontrolü, veri doğrulama, veri gizleme, verilerin temin edildiği kişilerin izlenmesi, arşivleme gibi birçok farklı amaç için kullanılabilir.

2. Literatür İncelemesi

Sayısal damgalamanın kullanılması, internet kullanımının yaygınlaşması ve kullanıcı sayısının artmasıyla başlamıştır. Sayısal damgalama, ilk başlarda sayısal verinin sahipliğinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraları yayın izleme, veri bozulma kontrolü, veri doğrulama, veri gizleme, verilerin tahsil edildiği kişilerin izlenmesi ve arşivleme gibi birçok amaç için kullanılmıştır (Tefas, Nikolaidis ve Pitas, 2009).



Şekil 1. Damgalama tekniklerinin sınıflandırılması

Damgalama tekniklerinin genel bir sınıflandırması Şekil 1'de özetlenmiştir. Buna göre, damgalama teknikleri damganın gömüleceği düzleme göre, resim uzayı ve frekans uzayı teknikleri olmak üzere ikiye ayrılır. Resim uzayı teknikleri, damgayı kaynak resmin piksel değerlerini güncelleyerek gömer (Chang, Chen ve Chung, 2002; Yu, Chang ve Hu, 2005). Frekans uzayı teknikleri ise ayrık fourier dönüşümü (AFD), tekil değer ayrışımı (TDA), ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) ve ayrık kosinüs dönüşümü (AKD) gibi dönüşüm uzaylarının katsayılarını güncellemek suretiyle damgayı kaynak görüntüye gömen tekniklerdir (Yu, Chang ve Hu, 2005; Hsu ve Wu, 1998). Frekans uzayındaki damgalama için öncelikle görüntü frekanslarına ayrılır. Frekanslara ayırmada kullanılan dönüştürme yöntemlerinden AKD, birçok avantajından dolayı görüntü damgalama yöntemlerinde öncelikli olarak tercih edilir (Yu-Ting, 2006). Frekans uzayı yöntemleri genelde, resim uzayı yöntemlerine göre ataklara karşı daha fazla dayanıklıdır (Aslantas, 2008).

Veri türüne göre sayısal damgalama teknikleri, metin damgalama (Aslantas, 2008; Jalil ve Mirza, 2009; Kankanhalli ve Hau, 2002; Qadir ve Ahmad, 2005), ses

damgalama (Boney, Tewfik ve Hamdy, 1996; Gordy ve Bruton 2000; Swanson, Zhu, Tewfik ve Boney, 1998), video damgalama (Hartung ve Girod, 1996; Jadhav ve Kolhekar, 2014) ve görüntü damgalama (Chao, Huang ve Chen, 2006; Jiansheng, Sukang ve Xiaomei, 2009; O'Ruanaidh ve Pun, 1997) olmak üzere dört başlık altında toplanır (Öztürk, 2009).

Damgalama teknikleri, algılanabilirliğe göre görünür ve görünmez damgalama olarak sınıflandırılır (Aslantas, Özer ve Öztürk, 2006). Görünür damgalama yönteminde filigran, sayısal görüntünün bir bölgesine tespit edilecek şekilde yerleştirilir. Görünmez damgalama yönteminde ise sayısal görüntüye damgalanan filigran, sadece damgalayan kişi tarafından belirli bir algoritma ve anahtara göre uygulanır ve buna göre geri çıkarılır (Shieh, Huang, Wang ve Pan, 2004). Görünür damgalar, logo gibi bir görüntü üzerinde bulunurlarken görünmez damgalar, görüntünün içerisine gözle görülemeyecek bir şekilde gizlenir (Pan, Huang ve Jain, 2004).

Görünmez damgalama algoritmaları, dayanıklı ve kırılğan olmak üzere ikiye ayrılır. Dayanıklı damgalama algoritmalarında, damgalanmış görüntünün orijinal görüntüye göre mümkün olduğunca az bozulması ve ataklar sonucu damgalanmış görüntüden çıkarılan damganın, orijinal damgaya olduğunca çok benzemesi amaçlanır. Kırılğan damgalama algoritmaları ise damgaya basit bir değişiklik uygulandığında zarar göreceği bir yapıya sahiptir. Kırılğan yapı damgalama yöntemleri, veri üzerinde değişiklik olup olmadığının kontrolü için önerilmektedir (Kong ve Feng, 2001). Kırılğan damgalamada, damganın sayısal verinin içerisine gömülmesi için birçok yöntem vardır. Özellikle sayısal verilerin anlamsız bölgelerine gömülen sayısal damgalar, verinin görünümünü az etkiler ve kırılğanlığa olan hassasiyetini artırır. Kırılğan damgalama yöntemleri, genel olarak blok tabanlı veya piksel değerinin anlamsız bitleri değiştirilerek yapılmıştır. Dayanıklı damgalama teknikleri ise genellikle güvenlik ve telif hakkının korunması için önerilmektedir (Lu, Shen ve Chung, 2003).

Sayısal damgalama alanındaki problemlerin çözümü için bu çalışma kapsamında:

- DC bileşenleri modifiye eden sabit ölçekleme faktörü kullanan AKD tabanlı damgalama tekniği (DC-AKD), farklı ölçekleme faktörleri ve çeşitli resimler üzerinde test edilerek damga dayanıklılığı ve şeffaflığı analiz edilmiştir.
- Huang'ın EPD kullanarak ikili-adaptif DC-AKD dayanıklı damgalama yönteminde (HUANG-EPD) (Huang, Shi ve Shi, 2000), çeşitli ön-tanımlı ölçekleme faktörleri kullanılmış ve çeşitli görüntüler kullanılarak test edilerek damga dayanıklılığı ve şeffaflığı analiz edilmiştir.

- Çalışma kapsamında bir çoklu adaptif URF tabanlı DC-AKD dayanıklı damgalama teknik önerilmiş olup (ÇOKLU-ADAPTİF), bu yöntemde ölçekleme faktörü adaptif olarak görüntüdeki blokların dokusuna göre belirlenmiş ve farklı görüntüler kullanılarak test edilerek damga dayanıklılığı ve şeffaflığı analiz edilmiştir.

3. Yöntem

Ayrık kosinüs dönüşümü (AKD) sinüzoidal bir dönüşümdür. AKD, Fourier dönüşümüne benzerdir. Ancak yalnızca kosinüs terimlerini kullanır ve sinüs terimlerini kullanmaz. Bundan dolayı karmaşık bileşenler içermez (Pan ve Bolouri, 1999). Ayrık kosinüs dönüşümü, frekans alanında en iyi enerji dağılımını sağlaması nedeniyle birçok kodlama sisteminde, başarıyla kullanılmaktadır (Chen, 2007).



Şekil 2. AKD katsayı gruplaması

AKD tabanlı damgalama tekniği, ilk olarak Zhao ve Koch tarafından ileri sürülmüştür. Zhao ve Koch, damga gömme işlemini 8x8'lik AKD bloklarının orta bant frekans bölgesine yapmışlardır (Koch ve Zhao,1995).

İki boyutlu bir AKD'ye ait temel denklemler aşağıdaki gibidir (Öztürk,2009):

$$C(u, v) = \rho(u)\rho(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right) \quad (1)$$

Burada $\rho(u)$ ve $\rho(v)$ aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$\rho(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & k=0 \text{ ise} \\ \frac{2}{\sqrt{N}}, & k \neq 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (2)$$

İki boyutlu ters AKD (TAKD) ise aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \rho(u)\rho(v)C(u, v) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right) \quad (3)$$

$C(0,0)$ AKD dönüşümünde, DC (alçak frekans) bileşen olarak adlandırılır ve diğer katsayılara göre baskın ve büyük bir değer ihtiva eder. Diğer bileşenler ise AC (yüksek frekans) bileşenler olarak adlandırılmaktadır. DC bileşenlerin çeşitli saldırılarına karşı duyarlılığı, AC bileşenlere oranla daha azdır. DC katsayılara damga gömülmesi durumunda bloklaşma etkisi artarken görünmezlik etkisi azalır. 8x8'lik bir bloktaki bileşenlerin sınıflandırılması Şekil 2’de verilmiştir. AKD tabanlı dayanıklı damgalama yönteminin temel çalışması, Şekil 3’de blok diyagram olarak verilmiştir.

3.1 DC Bileşenleri Kullanarak AKD Tabanlı Dayanıklı Damgalama Yöntemi (DC-AKD)

DC bileşenleri modifiye eden AKD tabanlı bu damgalama tekniğinde, sabit bir ölçekleme faktörü kullanılır. Bu yöntemde damga gömme işlemi aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

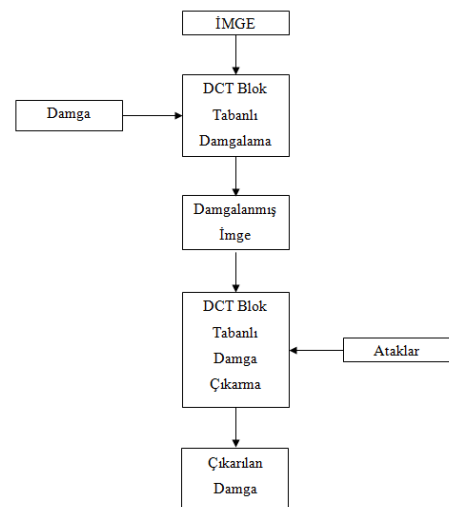
- 1) Orijinal resim (I) 8×8 'lik bloklara (B_i) ayrılır.
- 2) Tüm bloklara ayrı ayrı AKD (D_i) uygulanır.
- 3) Orijinal görüntü içerişine gömülecek damga $\mu=0$ ve $\sigma=1$ olarak standart normal dağılıma sahip rastgele oluşturulmuştur.

$$w = \{x_i, 0 \leq i \leq k\} \quad (4)$$

burada k , blok sayısıdır. Damgalama işlemi sadece DC katsayıları güncellenerek gerçekleştirilmiştir. Temel gömme denklemi şu şekildedir:

$$F'_k(u, v) = \begin{cases} F_k(u, v) \cdot (1 + \alpha \cdot x_k) & \text{Eğer } u = v = 0 \\ F_k(u, v) & \text{Diğer} \end{cases} \quad (5)$$

burada α ; ölçekleme faktörüdür.



Şekil 3. AKD tabanlı damga gömme ve çıkarma

Damga çıkarma işlemi ise aşağıda belirtildiği gibi gerçekleştirilir.

- 1) Damganın tekrar elde edilebilmesi için damgalanmış resim (WI) ve orijinal resim (I) yine 8×8 'lik bloklara (B_i) ayrılır.
- 2) Bu bloklara AKD uygulanır (D_i).
- 3) AKD uygulanmış orijinal resim ve damgalanmış resmin her bir bloğundaki DC bileşenlerin farkları alınır.

$$W_k^* = F_k^*(0,0) - F_k(0,0)$$

$$W^* = \bigcup_i W_k^* \{x_i^*, 0 \leq i \leq n\} \quad (6)$$

3.2 İkili-adaptif DC-AKD Dayanıklı Damgalama Yöntemi (HUANG-EPD)

Bir görüntüde farklı bloklar, genellikle farklı özelliklere sahiptir. Blokların bazıları zayıf bileşenler içerirken bazıları ise güçlü bileşenler içerebilir. Bu nedenle bu durum, eklenen damga sinyallerinin görünürlüğünü etkileyecektir. DC bileşenleri modifiye eden AKD tabanlı bu damgalama tekniğinde; zayıf bileşenlere güçlü damga sinyalleri, güçlü bileşenlere ise zayıf damga sinyalleri eklemek amacıyla Huang ve arkadaşları tarafından iki ön-tanımlı ölçekleme faktörü kullanılmıştır (Huang, Shi ve Shi, 2000).

Bu yöntemde, DC-AKD yönteminden farklı olarak, damga gömme işlemi için kullanılan ölçekleme faktörünü belirlemek için her bir blok, o bloğun doku değerini veren bir sayısal değer ile ifade edilir. Bu değer, bir eşik seviyesine bağlı olarak belirlenir. Bu işleme yönelik temel denklem şu şekildedir.

$$e(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{grad}(x, y) \geq \text{esikdeğer} \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad (7)$$

Burada $\text{grad}(x, y)$, Robert operatörü kullanılarak elde edilir.

$$\text{grad}(x, y) = \text{Robert}\{f(x, y)\}, \quad 0 \leq x, y < N \quad (8)$$

Her blok için elde edilen doku değeri ve bir eşik değerine göre iki ön tanımlı ölçekleme faktöründen birisi olarak güncellenir.

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_1 & \sum(e) > \text{eşik değer}_2 \\ \alpha_2 & \text{Diğer} \end{cases} \quad (9)$$

Damga çıkarma işlemi ise DC-AKD yönteminde belirtildiği gibi gerçekleştirilir.

3.3 Önerilen Çoklu-Adaptif Uzaysal Resim Frekansı (URF) Tabanlı DC-AKD Dayanıklı Damgalama Yöntemi (ÇOKLU-ADAPTİF)

HUANG-EPD yönteminde, her blok için belirli bir eşik değerine göre önceden tanımlı iki ölçekleme faktöründen birisi kullanılmaktadır. Bu nedenle belirlenen eşik değerine göre ölçekleme faktörlerinden birisine yakınsama meydana gelebilmektedir ve görüntü bazında farklı sonuçlar elde edilebilmektedir.

Önerilen DC bileşenleri modifiye eden AKD tabanlı damgalama tekniğinde, HUANG-EPD yönteminden farklı şekilde ölçekleme faktörü adaptif olarak resimdeki blokların doku değerlerine göre her bloğa özel olarak elde edilir. Böylece, ölçekleme faktörü belirleme zorunluluğu ortadan kalkmış ve ölçekleme faktörleri adaptif olarak görüntüdeki blokların doku değerlerine göre belirlenmiştir.

8×8 'lik her bir blok, o bloğun doku değerini veren bir piksel değeriyle ifade edilir ve böylece doku haritası çıkartılır. Uzaysal resim frekansı (URF) birinci derece türe ve dayalı görüntüdeki yüksek frekans bileşenlerini (kenar vb.) ölçen bir metriktir:

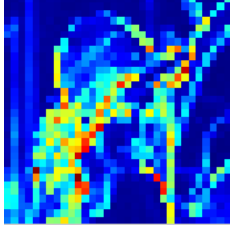
$$\text{URF} = \sqrt{C^2 + R^2} \quad (10)$$

burada C ve R, sırasıyla satır ve sütun gradyentleridir:

$$C = \left[\frac{1}{M \times N} \sum_i \sum_j [f(i, j) - f(i-1, j)]^2 \right]^{1/2}$$

$$R = \left[\frac{1}{M \times N} \sum_i \sum_j [f(i, j) - f(i, j-1)]^2 \right]^{1/2} \quad (11)$$

Lena test görüntüsü için her bir bloğun URF değerleri hesaplanarak oluşturulan doku haritası Şekil 4'de gösterildiği gibidir.



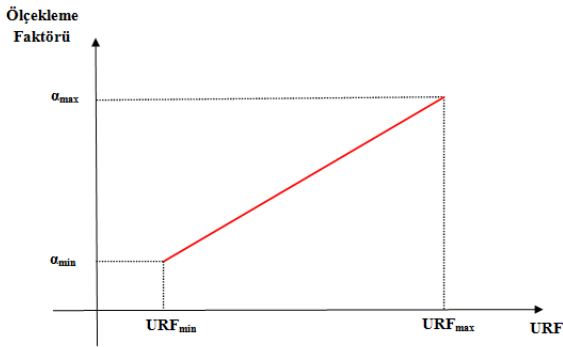
Şekil 4. Lena görüntüsü için URF ile elde edilen doku haritası

Doku haritasındaki piksel değerleri kullanılarak belirlenen α aralığına göre lineer bir dönüşüm sayesinde URF değerleri orantısal olarak ölçeklenerek adaptif ölçekleme faktörleri elde edilir.

$$\alpha = \frac{(URF - URF_{\min})(\alpha_{\min} - \alpha_{\max})}{URF_{\min} - URF_{\max}} + \alpha_{\min} \quad (12)$$

burada URF bir bloğun doku değerini, α ise ilgili bloğun adaptif ölçekleme faktörünü ifade etmektedir. URF ve α değerleri arasındaki ilişki Şekil 5'te verilmiştir.

Damga çıkarma işlemi ise DC-AKD yönteminde belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca belirtmek isteriz ki, bu makalede araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.



Şekil 5. Ölçekleme faktörünün URF' ye göre değişimi

4. Deneyler ve Bulgular

Dayanıklı damgalamada arzu edilen, damgalanmış görüntünün orijinal görüntüye göre mümkün olduğunca çok benzemesi (saydamlık) ve ataklar sonucu damgalanmış görüntüden çıkartılan damganın, orijinal damgaya mümkün olduğunca çok benzemesidir (dayanıklılık).

Test görüntüleri üzerinde pek çok deneyler yapılmıştır. Deneylerde öncelikle görüntüler, bahsedilen yöntemler kullanılarak damgalanmıştır. Damgalanmış

görüntülerin ne kadar bozulduğu ve çıkartılan damgaların orijinal damgaya ne kadar benzediği analiz edilmiştir. Diğer bir deneyde ise, damgalanan görüntüye çeşitli ataklar uygulanmış ve uygulanan atak sonrası çıkartılan damganın orijinal damgaya ne kadar benzediği analiz edilmiştir.

4.1 Kalite Metrikleri

Saydamlık (benzerlik) değerlendirmesi için SSIM metriği, dayanıklılık değerlendirmesi için korelasyon karşılaştırması kullanılmıştır.

Yapısal benzerlik (SSIM) indeksi iki görüntü arasındaki benzerliği ölçmek amacıyla kullanılmaktadır ve aşağıdaki denklemdeki gibi hesaplanır.

$$SSIM(I, WI) = \frac{(2\mu_I\mu_{WI} + c_1)(2\sigma_{IWI} + c_2)}{(\mu_I^2 + \mu_{WI}^2 + c_1)(\sigma_I^2 + \sigma_{WI}^2 + c_2)} \quad (13)$$

burada μ_I ve μ_{WI} sırasıyla I ve WI görüntülerinin ortalaması, σ_I^2 ve σ_{WI}^2 ise sırasıyla I ve WI 'nin varyansı, σ_{IWI} I ve WI 'nin kovaryansı, $c_1 = (k_1L)^2$ ve $c_2 = (k_2L)^2$ işlemi karalı hale getirmek için kullanılmış değişkenler, L piksellerin alabileceği değer aralığı, $k_1 = 0.01$ ve $k_2 = 0.03$ 'tür. SSIM indeksi -1 ve 1 arasında bir değer üretmektedir ve 1 değeri iki görüntünün aynı olduğu anlamına gelmektedir. Saydamlık kıyaslamasında SSIM değerinin mümkün olduğunca yüksek olması (1'e yakın) istenir.

Korelasyon katsayısı (CORR) orijinal damga ile geri elde edilen damga arasındaki benzerliği analiz etmek için kullanılır. Değeri 0 ve 1 arasında değişir. 1'e ne kadar yakın ise elde edilen damga orijinal damgaya o kadar benziyor demektir. Korelasyon katsayısına ait denklem aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$CORR(W, W^*) = \frac{\sum_m \sum_n (W_{mn} - \bar{W})(W_{mn}^* - \bar{W}^*)}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n (W_{mn} - \bar{W})^2\right) \left(\sum_m \sum_n (W_{mn}^* - \bar{W}^*)^2\right)}} \quad (14)$$

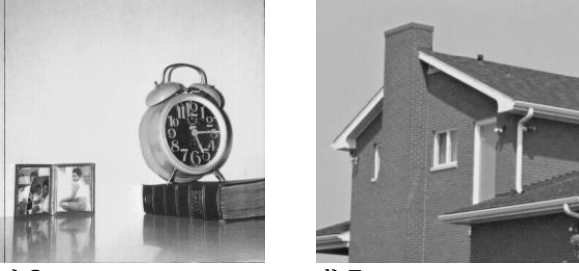
burada \bar{W} ve \bar{W}^* sırasıyla W ve W^* in ortalamalarını ifade etmektedir.



a) Lena



b) Kameraman



c) Saat d) Ev
Şekil 6. Damgalama deneyleri için kullanılan orijinal görüntüler

4.2 Deney Düzenegi ve Test Görüntüleri

Önerilen yöntemlerin başarımını test etmek amacıyla görüntü damgalama uygulamalarında sıkça kullanılan bazı test görüntüleri kullanılmıştır. Şekil 6'da gösterilen 256x256 boyutlarında gri tonlamalı 4 adet test görüntüsü kullanılarak çeşitli deneyler yapılmıştır.

$\alpha = 0.0050$

$\alpha = 0.0100$

$\alpha = 0.0250$

$\alpha = 0.0400$

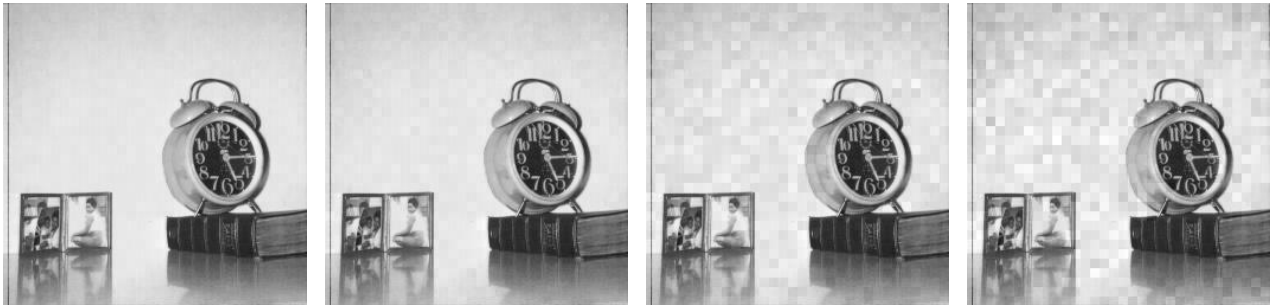
LENA



KAMERAMAN



SAAT

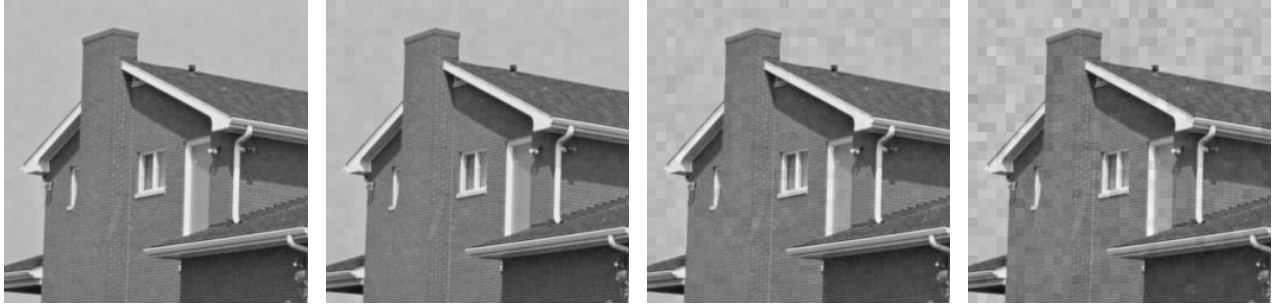


Deneyler MATLAB yazılım platformunda gerçekleştirilmiştir. Test görüntülerine gömülecek damga normal dağılımlı rastgele sayı jeneratörü ile üretilmiştir. Tüm deneyler hem damganın rastgele elde edilmesinden dolayı hem de ataklardan tuz & biber gürültüsünün rastgele olmasından dolayı her bir ölçkleme faktörü değeri için 50 kez tekrarlanmıştır ve ortalama değerler elde edilmiştir.

4.3 Deneysel Çalışmalar

DC-AKD, HUANG-EPD ve önerilen ÇOKLU-ADAPTİF damgalama yöntemlerinin başarımını test etmek amacıyla tüm test görüntüleri farklı parametreler ile damgalanmıştır. Her bir yöntemin kendisine has parametre kümesi olduğundan dolayı Tablo 1'de verilen parametre kombinasyonları ile tüm test görüntüleri ayrı ayrı damgalanmış ve elde edilen sonuçların orijinal görüntüye olan benzerlikleri (saydamlıkları) SSIM metriği ile hesaplanmıştır.

EV



Şekil 7. Çeşitli ölçekleme faktörü değerleri ile damgalanmış Lena, Kameraman, Saat ve Ev resimleri

DC-AKD damgalama yöntemi ile, ölçekleme faktörünün 0.004 ve 0.016 arasındaki farklı değerlerinin sonuca etkisi analiz edilmiştir. Örnek olarak, Şekil 7'de ölçekleme faktörünün 0.005, 0.010, 0.025 ve 0.040 değerleri için damgalanmış görüntüler verilmiştir. Benzer şekilde, HUANG-EPD ve önerilen ÇOKLU-ADAPTİF yöntemleri için Tablo 1'deki parametre değerleri kullanılarak test görüntüleri damgalanmıştır.

Tüm yöntemler için, damgalama yöntemlerinin saldırılara karşı dayanıklılığını test etmek amacıyla bulanıklaştırma (BL), JPEG sıkıştırma (JP), tuz & biber gürültüsü (TB) ve yeniden ölçekleme (YÖ) gibi 4 farklı saldırı gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1

Damgalama yöntemlerinin deneylerde test edilen parametre değerleri

Yöntem	Parametre Kümesi
DC-AKD	$a=0.0040, a=0.0045, a=0.0050, a=0.0055, a=0.0060, a=0.0070, a=0.0075, a=0.0080, a=0.0085, a=0.0090, a=0.0100, a=0.0160, a=0.0250, a=0.0400$
HUANG-EPD	$a_1=0.0030, a_2=0.010$ $a_1=0.0040, a_2=0.010$ $a_1=0.0050, a_2=0.010$ $a_1=0.0080, a_2=0.011$ $a_1=0.0020, a_2=0.015$ $a_1=0.0060, a_2=0.015$ $a_1=0.0060, a_2=0.016$ $a_1=0.0085, a_2=0.020$ $a_1=0.0100, a_2=0.020$
ÇOKLU-ADAPTİF	$a_{min}=0.003, a_{max}=0.010$ $a_{min}=0.004, a_{max}=0.010$ $a_{min}=0.005, a_{max}=0.010$ $a_{min}=0.006, a_{max}=0.020$ $a_{min}=0.006, a_{max}=0.030$ $a_{min}=0.007, a_{max}=0.030$ $a_{min}=0.008, a_{max}=0.030$ $a_{min}=0.008, a_{max}=0.040$ $a_{min}=0.009, a_{max}=0.040$

Örnek olarak, Şekil 8'de Lena, Kameraman, Saat ve Ev görüntüleri için DC-AKD yöntemi ile damgalanan görüntülere uygulanan saldırı sonucu elde edilen

görüntüler verilmiştir.

Tablo 2

DC-AKD yöntemi ile Lena resminin saydamlık ve dayanıklılık değerleri

	SAYDAMLIK (SSIM)	ATAKLARA KARŞI DAYANIKLILIK (CORR)			
		BL	JS	TB	YÖ
$a=0.0040$	0,9990	0,2661	0,5651	0,2446	0,7960
$a=0.0045$	0,9988	0,3010	0,6179	0,2819	0,8250
$a=0.0050$	0,9986	0,3410	0,6570	0,3130	0,8484
$a=0.0055$	0,9983	0,3676	0,6899	0,3459	0,8633
$a=0.0060$	0,9981	0,3944	0,7224	0,3795	0,8773
$a=0.0070$	0,9974	0,4508	0,7712	0,4334	0,8968
$a=0.0075$	0,9971	0,4732	0,7868	0,4541	0,9036
$a=0.0080$	0,9968	0,5053	0,8017	0,4716	0,9093
$a=0.0085$	0,9963	0,5227	0,8157	0,4931	0,9134
$a=0.0090$	0,9959	0,5475	0,8308	0,5220	0,9178
$a=0.0100$	0,9950	0,5893	0,8477	0,5577	0,9233
$a=0.0160$	0,9880	0,7394	0,9047	0,7178	0,9374
$a=0.0250$	0,9735	0,8407	0,9284	0,8285	0,9428
$a=0.0400$	0,9419	0,9014	0,9397	0,8959	0,9452

DC-AKD yöntemi ile Lena resminin damgalanması sonucu elde edilen SSIM saydamlık değerleri ve 4 farklı atak uygulanması sonucu oluşan görüntülerden çıkartılan damgaların CORR dayanıklılık değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de görüldüğü üzere, a değeri arttıkça saydamlık azalmakta ancak ataklara karşı dayanıklılık artmaktadır. $a=0.0100$ değerinde SSIM \geq 0.995 elde edilmiş ve bu durumda BL ve TB ataklarında 0.55'in üzerinde bir dayanıklılık değeri elde edilirken, JS ve YÖ için 0.84'ün üzerinde dayanıklılık değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3

HUANG-EPD yöntemi ile Lena resminin saydamlık ve dayanıklılık değerleri

	SAYDAMLIK (SSIM)	ATAKLARA KARŞI DAYANIKLILIK (CORR)			
		BL	JS	TB	YÖ
$a_1=0.0030, a_2=0.010$	0,9994	0,2118	0,4567	0,1906	0,6898
$a_1=0.0040, a_2=0.010$	0,9990	0,2803	0,5856	0,2672	0,7877

$a_1=0.0050,$ $a_2=0.010$	0,9986	0,3504	0,6696	0,3314	0,8466
$a_1=0.0080,$ $a_2=0.011$	0,9967	0,5115	0,8080	0,4871	0,9110
$a_1=0.0020,$ $a_2=0.015$	0,9997	0,1309	0,2994	0,1304	0,4577
$a_1=0.0060,$ $a_2=0.015$	0,9980	0,4217	0,7331	0,4027	0,8645
$a_1=0.0060,$ $a_2=0.016$	0,9980	0,4204	0,7314	0,3966	0,8597
$a_1=0.0085,$ $a_2=0.020$	0,9961	0,5468	0,8158	0,5250	0,8942
$a_1=0.010,$ $a_2=0.020$	0,9951	0,5993	0,8487	0,5680	0,9248

HUANG-EPD yöntemi ile Lena resminin damgalanması sonucu elde edilen saydamlık ve dayanıklılık değerleri Tablo 3’de verilmiştir. $a_1=0.010$, $a_2=0.020$ değerinde $SSIM \geq 0.995$ elde edilmiş ve bu durumda BL ve TB ataklarında 0.56’nın üzerinde bir dayanıklılık değeri elde edilirken, JS ve YÖ için 0.84’ün üzerinde dayanıklılık değerleri elde edilmiştir.

Tablo 4

ÇOKLU-ADAPTİF yöntemi ile Lena resminin saydamlık ve dayanıklılık değerleri

	SAYDAMLIK (SSIM)	ATAKLARA KARŞI DAYANIKLILIK (CORR)			
		BL	JS	TB	YÖ
$a_{min}=0.003,$ $a_{max}=0.010$	0,9989	0,3160	0,6358	0,2908	0,8384
$a_{min}=0.004,$ $a_{max}=0.010$	0,9985	0,3718	0,7038	0,3553	0,8730
$a_{min}=0.005,$ $a_{max}=0.010$	0,9979	0,4248	0,7498	0,4018	0,8932
$a_{min}=0.006,$ $a_{max}=0.020$	0,9975	0,4854	0,7917	0,4596	0,9003
$a_{min}=0.006,$ $a_{max}=0.030$	0,9971	0,5317	0,8059	0,5016	0,8914
$a_{min}=0.007,$ $a_{max}=0.030$	0,9964	0,5633	0,8307	0,5422	0,9050
$a_{min}=0.008,$ $a_{max}=0.030$	0,9957	0,5974	0,8486	0,5727	0,9168
$a_{min}=0.008,$ $a_{max}=0.040$	0,9950	0,6281	0,8519	0,6118	0,9254
$a_{min}=0.009,$ $a_{max}=0.040$	0,9941	0,6566	0,8673	0,6306	0,9146





Şekil 8. Damgalanmış görüntülere çeşitli saldırıların uygulanması

Önerilen ÇOKLU-ADAPTİF yöntemi ile Lena resminin damgalanması sonucu elde edilen saydamlık ve dayanıklılık değerleri Tablo 4'de verilmiştir. $a_{min}=0.008$, $a_{max}=0.040$ değerinde $SSIM \geq 0.995$ elde edilmiş ve bu durumda BL ve TB ataklarında 0.61'in üzerinde bir dayanıklılık değeri elde edilirken, JS ve YÖ için 0.85'in üzerinde dayanıklılık değerleri elde edilmiştir.

Tablo 5

Saydamlık kriteri $SSIM \geq 0.995$ için seçilen parametre değerleri

	DC-AKD	HUANG-EPD	ÇOKLU-ADAPTİF
LENA	$a=0.0100$	$a_1=0.010$, $a_2=0.020$	$a_{min}=0.008$, $a_{max}=0.040$
KAMERAMAN	$a=0.0085$	$a_1=0.0085$, $a_2=0.020$	$a_{min}=0.007$, $a_{max}=0.030$
SAAT	$a=0.0050$	$a_1=0.0050$, $a_2=0.010$	$a_{min}=0.004$, $a_{max}=0.010$
EV	$a=0.0075$	$a_1=0.0080$, $a_2=0.011$	$a_{min}=0.006$, $a_{max}=0.020$

Yöntemleri birbirleri ile adil bir şekilde karşılaştırabilmek adına tüm yöntemler ve tüm test görüntüleri için SSIM saydamlık değerlerinin 0.995'ten büyük veya eşit olduğu a ölçekleme faktörleri deneysel olarak belirlenmiştir. Tablo 5'te saydamlık değeri $SSIM \geq 0.995$ için seçilen parametre değerleri verilmiştir.

Lena, Kameraman, Saat ve Ev görüntüleri için benzerlik oranı $SSIM \geq 0.9950$ için sabit olmak kaydıyla Tablo 5'de belirlenen her bir yöntem için en iyi a ölçekleme parametre değerleri ile damgalama işlemleri gerçekleştirilmiş ve 4 farklı atak uygulanarak damgalar çıkartılmıştır. Çıkarılan damgaların orijinal damgalara benzerlik oranlarını belirten diğer bir ifadeyle dayanıklılık göstergesi olan CORR değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6'da görüldüğü gibi önerilen ÇOKLU-ADAPTİF damgalama tekniği, tüm saldırılara karşı HUANG-EPD ve DC-AKD damgalama tekniğine göre dayanıklılık açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. HUANG-EPD yöntemi ise, DC-AKD yöntemine göre genel olarak daha dayanıklı damgalama gerçekleştirmiştir. Fakat bazı durumlarda ölçekleme saldırısı karşısında DC-AKD damgalama tekniği, HUANG-EPD yöntemine göre daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 6

Test görüntülerinin saydamlık değeri $SSIM \geq 0.9950$ için çeşitli ataklara karşı CORR dayanıklılık sonuçları

		BL	JS	TB	YÖ
		DC-AKD	LENA	0,5893	0,8477
	KAMERAMAN	0,4452	0,7657	0,4445	0,8536
	SAAT	0,3635	0,7963	0,4169	0,9125
	EV	0,3173	0,7006	0,3534	0,8748
HUANG-EPD		BL	JS	TB	YÖ
	LENA	0,5993	0,8487	0,5680	0,9248
	KAMERAMAN	0,4734	0,7732	0,4802	0,8430
	SAAT	0,3882	0,8083	0,4321	0,9175
	EV	0,4819	0,8335	0,5233	0,9218
ÇOKLU-ADAPTİF		BL	JS	TB	YÖ
	LENA	0,6281	0,8519	0,6118	0,9254
	KAMERAMAN	0,5196	0,7971	0,5188	0,8569
	SAAT	0,4074	0,8290	0,4580	0,9312
	EV	0,5104	0,8443	0,5512	0,9240

5. Tartışma ve Sonuç

HUANG-EPD yönteminde iki adet ölçekleme faktörü kullanılmıştır. Doku içeren bloklar için sayısal olarak büyük olan ölçekleme faktörü, doku içermeyen bloklar için küçük olan ölçekleme faktörü seçilmiştir. DC-AKD yönteminde sadece bir ölçekleme faktörü kullanılmıştır. ÇOKLU-ADAPTİF yönteminde ise görüntüdeki tüm bloklar için, içerdikleri doku miktarıyla orantılı olacak şekilde ölçekleme faktörleri belirlenmiş ve damgalamada kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında ele alınan yöntemler 4 test görüntüsü kullanılarak test edilmiştir. Bu görüntüler 256x256 boyutlarında gri tonlamalı literatürde en sık kullanılan test görüntüleri arasından seçilmiştir. Tüm yöntemler için elde edilen sonuçlar sayısal olarak değerlendirilmiştir. Tüm görüntüler için elde edilen damgaya ait dayanıklılık sonuçları CORR ile, damgalanan görüntülerin orijinal görüntüye ne kadar benzediğini ait saydamlık sonuçları ise SSIM metrikleri ile elde edilmiş ve tablolarda verilmiştir.

Dayanıklı damgalamada bir yandan saydamlık kabul edilebilir en iyi seviyede tutulurken diğer taraftan da dayanıklılığın mümkün olan en üst düzeyde olması beklenmektedir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; önerilen ÇOKLU-ADAPTİF sayısal damgalama yönteminin HUANG-EPD ve DC-AKD yöntemlerine göre dayanıklı damgalama performansının daha yüksek olduğu görülmüştür. İleriki çalışmalarda saydamlığı ve dayanıklılığı maksimize edecek optimizasyon tekniklerinden faydalanabilir.

Teşekkür

Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2015-5826 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Rifat KURBAN, araştırma probleminin belirlenmesi, çalışmanın özgün değerlerinin ortaya konulması ve makalenin yazımı; Hakkı BOZPOLAT, bilimsel yayın araştırması, yöntemlerin bilgisayar ortamında kodlanması ve deneysel sonuçların elde edilmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Aslantaş, V., Özer, Ş., Öztürk, S. (2006). Tekil Değer Çıkarma Tabanlı Resim Damgalama Tekniklerinin Karşılaştırılması, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı ELECO' 2006, Bursa,Türkiye,312-317.
https://www.emo.org.tr/ekler/b9a80606d74d3da_ek.pdf
- Aslantas, V., (2008). A singular-value decomposition-based image watermarking using genetic algorithm. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 62 (5): 386-394.
<https://doi.org/10.1016/j.aeue.2007.02.010>
- Boney, L., Tewfik, A. H., Hamdy, K. N., (1996). Digital watermarks for audio signals, Multimedia Computing and Systems, 1996., *Proceedings of the Third IEEE International Conference on*, 473-480.
<https://doi.org/10.1109/MMCS.1996.535015>
- Chao, S.-C., Huang, H.-M., Chen, C.-Y., (2006). Digital watermarking of color image, *Electronic Imaging*, 605815-605815-12.
<https://doi.org/10.1117/12.642847>
- Chang, C.-C., Chen, T.-S., Chung, L.-Z., (2002). A steganographic method based upon JPEG and quantization table modification. *Information Sciences*, 141 (1): 123-138.
[https://doi.org/10.1016/S0020-0255\(01\)00194-3](https://doi.org/10.1016/S0020-0255(01)00194-3)
- Chen, Y.-Y., (2007). Medical image compression using DCT-based subband decomposition and modified SPIHT data organization. *International journal of medical informatics*, 76 (10), 717-725.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2006.07.002>
- Gordy, J., Bruton, L., (2000). Performance evaluation of digital audio watermarking algorithms, *Proceedings Of The IEEE Midwest Symposium On Circuits And Systems*,456-461.
<https://doi.org/10.1109/MWSCAS.2000.951682>
- Hartung, F. H., Girod, B., (1996). Digital watermarking of raw and compressed video, *Advanced Imaging and Network Technologies*, 205-213.
<https://doi.org/10.1117/12.251278>
- Hsu, C.-T., Wu, J.-L., (1998). Multiresolution watermarking for digital images. *Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, IEEE Transactions on*, 45 (8): 1097-1101.
<https://doi.org/10.1109/82.718818>
- Huang, J., Shi, Y.Q., Shi, Y., (2000). Embedding image watermarks in dc components. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 10 (6): 974-979. <https://doi.org/10.1109/76.867936>

- Jadhav, A., Kolhekar, M., (2014). Digital Watermarking in Video for Copyright Protection, *Electronic Systems, Signal Processing and Computing Technologies (ICESC), 2014 International Conference on*, pp. 140-144. <https://doi.org/10.1109/ICESC.2014.29>
- Jalil, Z., Mirza, A. M. (2009). A review of digital watermarking techniques for text documents, Information and Multimedia Technology. *ICIMT'09. International Conference on*, 230-234. <https://doi.org/10.1109/ICIMT.2009.11>
- Jiansheng, M., Sukang, L., Xiaomei, T., (2009). A digital watermarking algorithm based on DCT and DWT, *Proceedings of the 2009 International Symposium on Web Information Systems and Applications*, 104-107. <https://doi.org/10.1.1.402.5693>
- Kankanhalli, M. S., Hau, K., (2002). Watermarking of electronic text documents. *Electronic Commerce Research*, 2 (1-2): 169-187. <https://doi.org/10.1023/A:1013312707578>
- Kong, X., Feng, R., (2001). Watermarking medical signals for telemedicine. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 5 (3), 195-201. <https://doi.org/10.1109/4233.945290>
- Koch, E., Zhao, J., (1995). Towards robust and hidden image copyright labeling, *IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*, 452-455. <https://doi.org/10.1.1.49.2067>
- Langelaar, G. C., Setyawan, I., Lagendijk, R. L., (2000). Watermarking digital image and video data. A state-of-the-art overview. *IEEE Signal Processing Magazine*, 17(5), <https://doi.org/10.1109/79.879337>
- Lee, S.-J., Jung, S.-H., (2001). A survey of watermarking techniques applied to multimedia, *Industrial Electronics, Proceedings. ISIE 2001. IEEE International Symposium on*, 272-277. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2001.931796>
- Lu, H., Shen, R., Chung, F.-L., (2003). Fragile watermarking scheme for image authentication. *Electronics Letters*, 39 (12), 898-900. <https://doi.org/10.1109/ICGEC.2010.163>
- O'Ruanaidh, J., Pun, T., (1997). Rotation, translation and scale invariant digital image watermarking, *Image Processing, International Conference on*, 536-536. <https://doi.org/10.5555/839285.841638>
- Öztürk, S., (2009). Kırılğan ve Dayanıklı Resim Damgalama Tekniklerinin Başarımının Zeki Optimizasyon Yöntemleri ile Arttırılması. *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ab. D., Doktora Tezi*. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/500089>
- Pan, J.-S., Huang, H.-C., Jain, L. C., (2004). Intelligent watermarking techniques. *World scientific*. <https://doi.org/10.1142/5471>
- Pan, Z., Bolouri, H., (1999). High speed face recognition based on discrete cosine transforms and neural networks. https://www.researchgate.net/publication/2590977_High_Speed_Face_Recognition_Based_on_Discrete_Cosine_Transforms_and_Neural_Networks
- Qadir, M. A., Ahmad, I., (2005). Digital text watermarking: secure content delivery and data hiding in digital documents, *Security Technology, 2005. CCST 05. 39th Annual 2005 International Carnahan Conference on*, 101-104. <https://doi.org/10.1109/MAES.2006.284353>
- Shieh, C.-S., Huang, H.-C., Wang, F.-H., Pan, J.-S., (2004). Genetic watermarking based on transform-domain techniques. *Pattern recognition*, 37 (3), 555-565. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2003.07.003>
- Swanson, M. D., Zhu, B., Tewfik, A. H., Boney, L., (1998). Robust audio watermarking using perceptual masking. *Signal processing*, 66 (3): 337-355. [https://doi.org/10.1016/S0165-1684\(98\)00014-0](https://doi.org/10.1016/S0165-1684(98)00014-0)
- Tefas, A., Nikolaidis, N., Pitas, I., (2009). Chapter 22 - Image Watermarking: Techniques and Applications, in *The Essential Guide to Image Processing (Second Edition)*, Bovik, A., Ed., ed Boston: Academic Press, 597-648. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374457-9.00022-6>
- Wang, Q., Sun, S., (2000). DCT-based image-independent digital watermarking, *Signal Processing Proceedings, WCCC-ICSP 5th International Conference on*, 942-945. <https://doi.org/10.1109/ICOSP.2000.891677>
- Wolfgang, R. B., Delp, E. J., (1996). A watermark for digital images, *Image Processing, Proceedings, International Conference on*, 219-222. <https://doi.org/10.1109/ICIP.1996.560423>
- Yu, Y.-H., Chang, C.-C., Hu, Y.-C., (2005). Hiding secret data in images via predictive coding. *Pattern Recognition*, 38 (5): 691-705. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2004.11.006>
- Yu-Ting, P., (2006). Low power block-based watermarking algorithm. *IEICE transactions on information and systems*, 89 (4): 1507-1514. <https://doi.org/10.1093/ietisy/e89-d.4.1507>

ÇANAKKALE AYVACIK VOLKANİK TÜFÜNÜN HAFİF YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİNDE AGREGA OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Seyide KILIÇALTAN^{1*}, Uğur DEMİR²

¹ Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, KÜTAHYA, ORCID No :

<http://orcid.org/0000-0001-7878-0068>

² Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, KÜTAHYA, ORCID No :

<http://orcid.org/0000-0001-8828-4711>

Anahtar Kelimeler	Öz
Volkanik Tüf, Hafif Yapı Malzemesi, Hafif harç,	Ülkemizin deprem kuşağında bulunması ve enerji maliyetlerinin sürekli olarak artması, inşaat teknolojilerinin gelişmesinde itici bir güç olmuştur. Bu gelişmelerin başında hafif yapı malzemelerinin üretilmesi ve çeşitli teknik özelliklerinin sürekli olarak iyileştirilmesi gelmektedir. Bina ölü yükünün azaltılması, ısı ve ses yalıtımı gibi özellikleri nedeniyle doğal hafif agregalar son çeyrek yüzyılda oldukça fazla kullanılmaya başlanmış, günümüzde de kullanım oranı giderek artmaktadır. Bu çalışmada ufalanıp belirli boyutlarda sınıflandırılan Çanakkale-Ayvacık yöresi volkanik tüf agregası olarak kullanılıp hafif harç üretilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla farklı reçeteler kullanılarak üretilen hafif harç numunelerinin 7, 14 ve 28 günlük birim hacim ağırlık (BHA), basınç dayanımı (BD) ve kapiler su emme (KSE) gibi teknik özelliklerde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları (BHA: 1328 kg/m ³ , BD: 12,87 MPa, SE: 0,64 kg/(m ² .dak ^{0.5})) standartlarda olması gereken değerler ile karşılaştırılmış, Çanakkale-Ayvacık yöresi volkanik tüf agregalarının hafif yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

INVESTIGATION OF THE USABILITY AS AN AGGRAGATE IN THE PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT BUILDING MATERIAL OF ÇANAKKALE-AYVACIK VOLCANIC TUFF

Keywords	Abstract
Volcanic tuff, Lightweight building materials, Lightweight mortar,	The fact that our country is located in an earthquake zone and the energy costs constantly increase has been a driving force in the development of construction technologies. At the beginning of these developments is the production of lightweight building materials and the continuous improvement of their various technical properties. Due to its features such as reducing the dead load of the building, heat and sound insulation, natural lightweight aggregates have been used quite a lot in the last quarter century, and today the usage rate is increasing gradually. In this study, light mortar was tried to be produced by using volcanic tuff aggregate from Çanakkale-Ayvacık region, which was crushed and classified into certain sizes. For this purpose, changes in technical properties such as unit volume weight (BHA), compressive strength (BD) and capillary water absorption (KSE) of light mortar samples produced using different recipes were investigated during the curing periods of 7, 14 and 28 days. The analysis results (BHA: 1328 kg/m ³ , BD: 12,87 MPa, SE: 0,64 kg/(m ² .dak ^{0.5})) obtained were compared with the values that should be in the standards, and it was determined that the volcanic tuff aggregates from Çanakkale-Ayvacık region could be used as lightweight building material.

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 27.11.2021

Submission Date : 27.11.2021

Kabul Tarihi : 02.02.2022

Accepted Date : 02.02.2022

* Sorumlu yazar; e-posta : seyide_990@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/>).

1. Giriş

Deprem yükünü azaltması, hem ses hem de ısı yalıtımında üstün özelliklerinin bulunması, yangına karşı dayanımı, estetik özellikleri, enerji maliyetlerindeki artış ve yasal düzenlemelerin yalıtımı zorunlu hale getirmesi hafif yapı malzemelerinin inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmasının sebepleri olarak sıralayabiliriz (Çelik, Kılıç ve Akkurt, 2014; Ünal ve Uygunoğlu 2007). Hafif yapı malzemeleri, binanın ölü yükünü azaltmasından dolayı, bina hafifletmekte (daha güvenli hale gelmekte), binanın taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinde meydana gelen küçülme ise maliyetlerin önemli oranda azalmasına neden olmaktadır (Akyüncü 2019; Beycioğlu, Başyigit ve Kılıçarslan, 2010; Geçten ve Gül 2019; Kılıçarslan, Davraz ve Akça, 2018; Kozak ve Ünal 2010; Subaşı 2009). Yüksek ısı performansına ve mekanik dayanıma sahip olan hafif yapı malzemeleri hem enerji verimliliğini sağlarken hem de çevrenin daha az kirlenmesine neden olmaktadır (Fidan, Oktay ve Polat, 2020). Hafif yapı malzemesi üretiminde pomza (Akyüncü 2019; Beycioğlu ve diğ. 2010; Bilgin 2017; Ceylan ve Saraç 2006; Davraz ve Başpınar 2011; Fidan ve diğ. 2020; Geçten ve Gül 2019; Kılıçarslan ve diğ. 2018; Kozak ve Ünal 2010; Sarıışık ve Sarıışık 2010; Serin, Çankıran, Başyigit, Taş ve Fenkli, 2007; Tatlıdil ve Sancak 2013), diatomit (Serin ve diğ. 2007; Ünal ve Uygunoğlu 2007), vermikulit, volkanik tüf (Kozak ve Ünal 2010), volkanik cüruf (Biçer 2020; Davraz ve Başpınar 2011), ignimbirit (Bilgin 2017; Şapçı, Gündüz ve Yağmurlu 2014), perlit ve genleştirilmiş perlit (Çelik ve diğ. 2014; Gökçe, Şimşek, Durmuş ve Demir, 2014; Fidan ve diğ. 2020), genleştirilmiş kil (Davraz ve Başpınar 2011; Subaşı 2009) gibi doğal ve EPS gibi sentetik (Çelik ve diğ. 2014; Fidan ve diğ. 2020; Şahin ve Karaman 2012) malzemeler de kullanılmaktadır. Hafif yapı malzemelerinin birim hacim ağırlıklarının 2000 kg/m³'den küçük olması gerekmektedir (Kılıçarslan ve diğ. 2018; Serin ve diğ. 2007). Kaliteli hafif agregalarda su emme oranının %15'in altında olması ve basınç dayanımının ise en az 17,2 MPa olması gerekmektedir (Yolcu ve Girgin 2017).

Volkanik tüf, volkanik püskürme boyunca kraterden dışarı çıkan, konsolide olmuş volkankülü veya volkan tozundan oluşan kayalardır. Volkanik kül matriksi içinde volkanik kayaç ve mineral parçalarından oluşan volkanik bir kayaçtır. Volkanik tüf, bazı kül ve mineral parçalarının yanmış ve kavrulmuş halde havaya fırladığı ve yüzeye düşüp karışarak depolandığı zaman oluşmaktadır (Daloğlu 2008; Kozak ve Ünal, 2010). Volkanik tüfler genellikle çok düşük birim hacim ağırlığına, çok yüksek poroziteye ve çok fazla şekil değiştirme yeteneğine sahiptir. Tüf ortalama 1300 °C'de erimekte, 760 °C'nin altında herhangi bir değişime uğramamaktadır. Doğal nem oranı düşük, sertliği 5,5-6

arasında, basınç mukavemeti ise 95-130 kg/m² arasındadır (Kozak ve Ünal, 2010). Tüfler, genelde pembe ve beyaz olarak ayrılabilen, beyaz tüfler genellikle tüflü yapının içine gömülmüş küçük metamorfik kayaç parçaları olan fenokristaller iken pembe tüflerde ise çoğunlukla tüflü yapının içine gömülmüş büyük metamorfik parçalar olan fenokristallerden oluşurlar (Daloğlu 2008). Tüf agregalarının ana bileşeni SiO₂'dir, Si ile birlikte Al₂O₃ varlığındaki artış puzolanik aktiviteyi ve dolayısıyla basınç dayanımının artmasına neden olmaktadır (Kozak ve Ünal, 2010).

Bu çalışmada, üzerinde fazla çalışma yapılmamış olan Çanakkale Ayvacık Akçin yöresi doğal volkanik tüf agregasının hafif yapı malzemesi (hafif harç) olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla farklı boyut gruplarındaki (0-2 mm ve 2-4 mm) agregalar farklı oranlarda kullanılmış, bununla beraber farklı çimento oranlarının (%18-33) birim hacim ağırlık (BHA), kapiler su emme ve basınç dayanımlarındaki etkileri incelenmiş, elde edilen ürünlerin standartları karşılayıp karşılamadığı irdelenmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Hafif yapı malzemesi üretilmesine yönelik çeşitli doğal ve sentetik agregaların kullanıldığı çalışmalar ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Kozak ve Ünal (2010) Afyonkarahisar tüfü ve Isparta pomzasını kullanarak 4 farklı kalıpta hafif beton üretilmesine yönelik çalışma yapmışlar, aynı zamanda farklı çimento miktarlarında elde edilen ürünlerin basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik özelliklerini standartlarda belirtilen testleri uygulayarak belirlemişlerdir. Davraz ve Başpınar (2011) Isparta-Karakaya, Isparta-Gelincik, Kayseri, Nevşehir pomzası ile Kula volkanik cürufu ve genleştirilmiş kil numuneleri kullanılarak hafif yapı malzemesi üretmeye çalışmışlar, elde edilen ürünlerin çeşitli teknik özelliklerini standartlarda belirtilen testler uygulanarak belirlemeye çalışmışlardır. En düşük birim hacim ağırlığın Kayseri pomzası ile en yüksek birim hacim ağırlığın Kula volkanik cürufu ile elde edildiği tespit edilmiştir. Biçer (2020) hafif beton üretmek amacıyla Elazığ-Yeniköy volkanik cürufunu tek başına ve kum ile belirli oranlarda karıştırarak kullanmış, elde edilen ürünün ısı iletkenlik ve basınç dayanım özelliklerini belirlemek amacıyla standartlarda belirtilen testleri uygulamıştır. Test sonuçları elde edilen ürünlerin hafif yapı malzemesi olduğunu göstermiştir.

Ceylan ve Saraç (2006) farklı yörelerden elde edilen (Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas, İzmir-Menderes) pomza agregalarından hafif yapı malzemesi üretmeye

çalışmışlar, bu üç yöre malzemelerini farklı kombinasyonlarda karıştırarak elde ettikleri ürünlerin teknik özelliklerini incelemişlerdir. Ürünlerin teknik özelliklerinin oluşum şartları ile de ilişkili olduklarını belirlemişlerdir. Sarıışık ve Sarıışık (2010) hafif beton üretmek amacıyla doğal Nevşehir pomza agregası ile sentetik EPS kullanmışlar, elde ettikleri hafif betonun ısı iletkenlik, basınç dayanımı ve ses yutuculuk gibi teknik özelliklerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlar pomza ve EPS kullanılarak hafif beton üretilebileceğini göstermiştir. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışmada, büyük kalıplar kullanarak elde ettikleri ürünleri, istedikleri ebatlarda daire testere ile kesebildiklerini belirtmişlerdir. Beycioğlu ve diğ. (2010) hafif beton üretmek amacıyla Isparta-Gölcük pomzası ile çimentoya farklı oranlarda silis dumanı ilave etmişler, elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızlarını standartlarda belirtilen testleri uygulayarak belirlemişlerdir. Artan silis dumanı miktarı teknik özelliklerde pozitif etkiler gösterdiği tespit edilmiştir. Tatlıdil ve Sancak (2013) Isparta yöresi pomzası kullanarak hafif bölme panel duvar üretmeye çalışmışlar, bu amaçla farklı oranlarda çimento ve katkı maddesinin basınç dayanımı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çimento ve katkı oranı arttıkça elde edilen ürünün basınç dayanımında belirgin artışlar elde edilirken, birim hacim ağırlıkta da belirgin artışların olduğu tespit edilmiştir. Kılınçarslan ve diğ. (2018) Isparta, Kayseri, Nevşehir ve Karaman yöresi pomza agregalarını hafif yapı malzemesi üretmek amacıyla kullanmışlar, elde edilen ürünlerin standartlarda belirtilen basınç dayanımı, ısı iletkenliği, ses yutuculuğu ve ses iletimi gibi özellikleri farklı ebatlarda üretilen beton numuneleri üzerinde test etmişlerdir. Teknik özelliklerin pomza oluşum şartlarından etkilendiği belirlenmiştir. Akyüncü (2019) Tekirdağ-Çorlu kumu ile Kayseri-Talas pomzasını farklı oranlarda karıştırarak hafif beton üretmiş, elde edilen ürünün yangın etkisi sonrasında çeşitli teknik özelliklerde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Pomza miktarının artışı yangına karşı dayanımda belirgin artışlara neden olurken, beton yüzeyinde oluşan sıcaklıkta da belirgin azalışların olduğu belirtilmiştir. Geçten ve Gül (2019) Van-Erçiş-Kocapınar pomza agregası kullanarak hafif yapı malzemesi üretilmesine yönelik çalışmada, farklı kür uygulamalarının, elde edilen malzemelerde su emme ve ısı iletkenliği üzerine etkilerini incelemişlerdir. 28 gün boyunca günde 3 kere yapılan sulama işlemi sonucunda elde edilen ürünlerin su emme oranında belirgin bir azalma meydana gelirken, ısı iletkenlikte az da olsa bir iyileşmenin olduğu tespit edilmiştir.

Ünal ve Uygunoğlu (2007) hafif beton üretmek amacıyla Afyonkarahisar diyatomit numuneleri kullanmışlar, farklı çimento oranlarının elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Çimento miktarındaki artışın basınç dayanımında olumlu yönde etki ettiği, birim hacim

ağırlıkta ise olumsuz yönde etki ettiğini belirlemişlerdir. Serin ve diğ. (2007) hafif ve yarı hafif beton üretmek amacıyla Isparta-Atabey agregası, Gölcük pomzası ve Keçiborlu diyatomitlerini belirli oranlara karıştırmışlar ve elde edilen ürünlerin teknik özelliklerinin standartlarda belirtilen sınır değerleri karşılayıp karşılamadıklarını tespit etmişlerdir. Topçu ve Toprak (2009) Termik santral taban küllerini alkaliler ile aktive ederek hafif harç üretilmesine yönelik yaptıkları çalışmada, elde edilen ürünlerin BHA, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımları gibi çeşitli özellikleri belirlemeye çalışmışlardır. Gündüz ve Kalkan (2016) Ankara-Kazan diyatomitlerinden hafif harç üretilmesine yönelik yaptıkları çalışmada, ince ve iri agreganın karışım oranlarına bağlı olarak birim hacim ağırlık, basınç dayanım, ısı iletkenlik, ultrases geçiş hızlarında meydana gelen değişimleri incelemişlerdir.

Şapçı ve diğ. (2014) hafif yapı malzemesi üretmek için Aksaray ignimbiriti kullanmış, farklı tane boyutlarındaki agrega ile farklı çimento oranları kullanarak, elde edilen ürünlerin standartlarda belirtilen değerleri karşılayıp karşılamadıklarını tespit etmişlerdir. Bilgil (2017) Nevşehir pomzasını tek başına ve ignimbirit ile belirli oranlarda karıştırarak hafif yapı malzemesi üretmiş, elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlık ve basınç dayanımlarında meydana gelen değişimi incelemiştir. Pomza agregasına ignimbirit ilavesi ile basınç dayanımında önemli oranda iyileşme meydana gelirken, birim hacim ağırlıkta belirgin bir artışın olduğu belirlenmiştir.

Gökçe ve diğ. (2010) hafif beton üretiminde hafif agrega olan perlit ve geliştirilmiş perlitli ayrı ayrı kullanmışlar ve elde edilen ürünlerin birim hacim ağırlık, su emme ve basınç dayanım özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Geliştirilmiş perlit kullanımı birim hacim ağırlıkta önemli oranda azalmaların olmasına neden olurken, hem su emme hem de basınç dayanımında negatif etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Çelik ve diğ. (2014) hafif yapı malzemesi üretmek amacıyla İzmir Etimaden tarafından üretilen geliştirilmiş perlit, sentetik CMC malzemesi ve kömür tozu kullanmışlar, elde edilen ürünlerin standartlara uygunlukları çeşitli testler uygulayarak belirlemişlerdir. Fidan ve diğ. (2020) hafif yapı malzemesi elde etmek için doğal agrega olan pomza ve geliştirilmiş perlit ile birlikte lastik parçaları kullanmış, elde edilen ürünlerin çeşitli teknik özelliklerini standartlarda belirtilen testleri kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Yazarlar aynı zamanda ürünlerin teknik özelliklerini yapay sınır ağırları tekniğini kullanarak tahmin edilebileceğini belirlenmişlerdir.

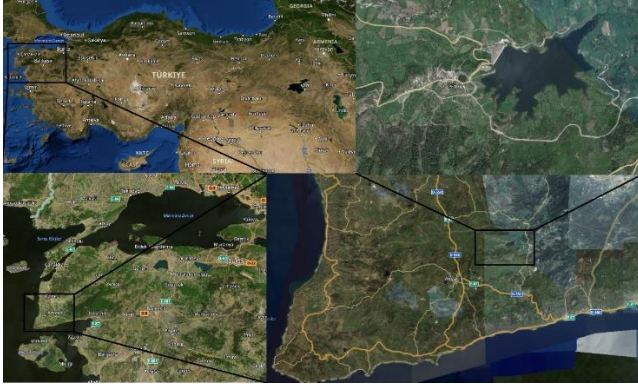
Subaşı (2009) hafif taşıyıcı yapı malzemesi üretmek amacıyla farklı çimento oranlarında Alman kökenli geliştirilmiş kil ve kumu belirli oranlarda karıştırarak kullanmış, elde edilen ürünün taşıyıcı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla standartlarda belirtilen testleri uygulamıştır. Elde edilen ürünlerin taşıyıcı özellikte

olduğu belirlenmiştir. Şahin ve Karaman (2012) hafif alçı blok üretmek amacıyla Sivas yöresi jips numunesi, sentetik EPS malzemesi ve pomza agregasını farklı kombinasyonlarda karıştırarak kullanmışlar, elde edilen ürünlerin kuru yoğunluk, basınç dayanım, su emme ve ısıl iletkenli özelliklerini standart test yöntemlerini kullanarak belirlemişlerdir.

3. Malzeme ve Yöntem

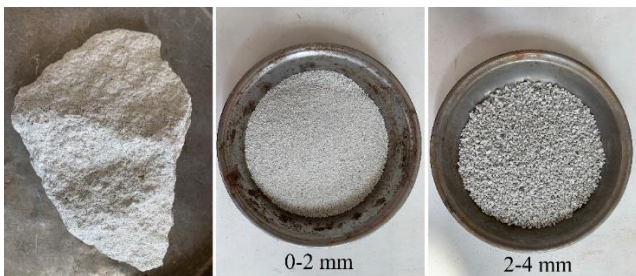
3.1 Malzeme

Çanakkale iline bağlı Ayvacık ilçesinin yaklaşık 13 km kuzey-doğusunda bulunan Akçin köyü yakınlarında aktif olarak çalışan özel bir firmaya ait ocaktan alınan volkanik tüf agregası deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Doğal agregaların alındığı sahanın yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yer Bulduru Haritası (googlemap)

Alınan temsili numunelerin parça, boyutu küçültüldükten ve boyut gruplarına ayrıldıktan (0-2 mm ve 2-4 mm) sonraki halleri Şekil 2'de verilmiştir. Ocaktan alınan numuneler Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarına getirilmiş, çeneli kırıcı yardımı ile ufalanan agrega numunesi boyut dağılımının belirlenmesi amacıyla elek analizine tabi tutulmuştur. Elek analiz sonuçları Şekil 3'de, kimyasal analiz sonuçları ile Tablo 1'de verilmiştir.

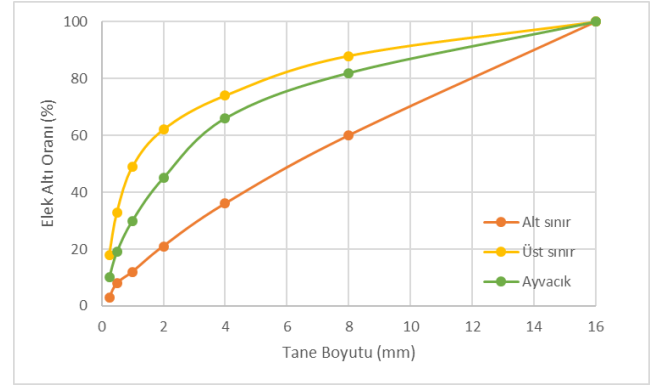


Şekil 2. Parça, 0-2 mm ve 2-4 mm Volkanik Tüf Görüntüleri

Tablo 1.

Deneysel Çalışmada Kullanılan Volkanik Tüf Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

İçerik	%
SiO ₂	65,22
Al ₂ O ₃	16,03
TiO ₂	0,22
Fe ₂ O ₃	1,75
CaO	1,8
MgO	2,7
Na ₂ O	1,97
K ₂ O	3,4
K.K	6,43



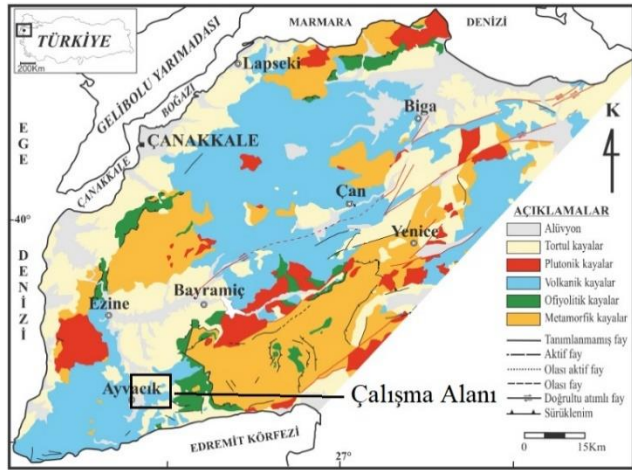
Şekil 3. Ufalama İşleminde Sonraki Boyut Dağılımı (TS EN 13055-1)

Hafif harç üretmek amacıyla doğal agrega 0-2 ve 2-4 mm boyut gruplarına ayrılmıştır. Çizelge 2'de ufalama işleminden sonra elde edilen numunelerin 0-2 ve 2-4 mm boyut aralığındaki yoğunlukları verilmiştir.

Tablo 2.

0-2 ve 2-4 mm Boyut Aralığındaki Yoğunluklar

İçerik Tane boyutu	Yoğunluk
Tüf Agregası (0-2 mm)	756
Tüf Agregası (2-4 mm)	1197



Şekil 4. Biga Yarımadası'nda Gözlenen Ana Kaya Grupları ve Çalışma Alanı (Deniz vd. 2010)

Şekil 4'de Biga Yarımadası'nda gözlenen ana kaya grupları ve çalışma alanı görülmektedir. Biga yarımadası, KD-GB yönlü tektonik unsurları barındıran bir yapıya sahiptir. Yarımada'nın temelini Geç Karbonifer-Erken Triyas yaşlı Kazdağ Metamorfitleri oluşturmaktadır. Bu kayaların üzerinde tektonik olarak yerleşmiş arkozik kumtaşları, grovaklar, bazaltik kayalar, tüfler, aglomeralar ve kireçtaşlarından oluşan Geç Permiyen-Erken-Orta Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi ve metamorfizma geçirmiş epiklastik-piroklastik kökenli litolojilerden ve bunları kesen metagranodiyoritlerden oluşan Triyas yaşlı Kalabak Birimine ait kayalar bulunmaktadır. Geç Kretase'de ofiyolitik kayalardan oluşan bir melanj gelmiştir. Bölgede Tersiyer, Orta Eosen neritik kireçtaşları ve bunların üzerine uyumlu olarak gelen volkanik ara katlı Geç Eosen türbiditleriyle başlar. Oligosen sonunda Biga Yarımadasında önemli bir yükselme ve aşınma evresi olmuş ve yarımada'nın güneyindeki Orta Eosen-Oligosen istifi tümüyle aşınmıştır. Bölgede Erken-Orta Miyosen'de volkanik kayalarla eş yaşlı bitümlü şeyl, silttaşı, kumtaşı, tuf ve kömürden oluşan tortullar meydana gelmiştir. Oligosen-Miyosen döneminde kalkalkalen magmatizma bölgeyi etkilemiş, ayrıca andezit, dasit, riyolit ve asidik tüfler geniş alanlara yayılmıştır. Biga Yarımadasında volkanizmaya bağlı olarak Geç Oligasen-Erken Miyosen aralığında oluşmuş, genellikle granodiyoritik bileşimli sığ sokulumların varlığı bilinmektedir. Tersiyer'de gerilme tektoniğiyle şekillenen havzalarda genellikle karasal tortullar yoğun bir volkanizma eşliğinde oluşmuştur. Geç Miyosen volkanizması sonlanırken, fluvial klastikler Biga Yarımadasının kuzeyinde çökelmiştir. Pliyo-Kuvaterner'de Biga Yarımadasında çakıltası, kumtaşı ve şeyl bileşimli fluvial çökeller ile gölsel karbonatlar oluşmuş ve az miktarda alkali bazaltik volkanizma meydana gelmiştir (Deniz, Baba ve Tarcan, 2010).

Deneyisel çalışmalarda hafif harç üretiminde ÇimSa markalı Cem II 42,5 R beyaz çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi Tablo 3'de ve çeşitli özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3.

Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Çimentonun Kimyasal Bileşimi

Bileşenler	Değerler (%)
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	0,5-6,0
MgO	0,1-0,4
Na ₂ O+K ₂ O	0,2-1,3
SO ₃	1,0-3,0
Kızdırma Kaybı	1,0-2,0
Çözünmeyen Kalıntı	1,0-2,0

Tablo 4.

Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Çimentonun Çeşitli Özellikleri TS EN 197-1 CEM II 42.5R

Özellikler	Portland çimentosu
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,00
Priz Başlangıcı(dak.)	150
Yüzey alanı (cm ² /g)	3450
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPA)	25
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPA)	48

Hafif harç üretilmesi sırasında agrega ve çimentonun istenilen etkileşimi göstermesi için Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Yerleşkesi şebeke suyu kullanılmıştır. Çimento-su karışım oranı oldukça önemli bir durumdur, bu çalışmada su/çimento oranı 0,45 olarak belirlenmiştir, aynı oranda önemli olan bir diğer durum ise tane boyut dağılımıdır. Karışıma fazla su ilave edilmesi, numunelerin şekil almasında sorunlara neden olurken, çökme olarak tarif edilen durumun olmasına da neden olabilmektedir.

Elde edilen karışımların birim hacim ağırlık (BHA), basınç dayanımı ve kapiler su emme özelliklerinin standartlarda (TS EN 1015-10, TS EN 1015-11, TS EN 1015-18) belirtildiği şekilde test edilebilmesi için 5x5x5 cm ve 10x10x10 cm'lik kalıplar kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

Hafif harç elde etmek amacıyla 0-2 ve 2-4 mm boyutlarındaki agregalar %60 ve %40 oranlarında 2 farklı seri oluşturulacak şekilde karıştırılmıştır. 1 seride %40 0-2 mm agrega ile %60 2-4 mm agrega, 2 seride

%60 0-2 mm agrega ile %40 2-4 mm agrega karıştırılmıştır (Tablo 5 ve 6). Agregalar karışım hazırlanmadan önce ön ıslatma işleme tabi tutulmuştur. Karışımlara %18-33 oranında çimento ilave edilerek 6 farklı reçete hazırlanmıştır. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Tablo 5.

Hafif Harç 1. Seri Karışım Oranları

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
Bileşenler	Ağırlık (%)					
0-2mm %40	32,8	31,6	30,4	29,2	28	26,8
2-4mm %60	49,2	47,4	45,6	43,8	42	40,2
P. ÇİMENTO	18	21	24	27	30	33
Toplam	100	100	100	100	100	100

Tablo 6.

Hafif Harç 2. Seri Karışım Oranları

	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
Bileşenler	Ağırlık (%)					
0-2mm %60	49,2	47,4	45,6	43,8	42	40,2
2-4mm %40	32,8	31,6	30,4	29,2	28	26,8
P. ÇİMENTO	18	21	24	27	30	33
Toplam	100	100	100	100	100	100

Hafif harç numunelerinde hesaplamalar sonucu su-çimento oranı (0,45) belirlenerek farklı karışımlar elde edilmiş, 5x5x5 cm ebatlarındaki kalıplara dökülmüş kalıp yüzeyleri mala ile düzeltilmiştir. Numunelerin yapışmaması için yağlanan kalıplarda 24 saat bekletilen numuneler, dikkatli bir şekilde çıkartılmıştır (Şekil 5). Kalıplardan çıkarılan numuneler 7, 14 ve 28 günlük kür süreleri için laboratuvar koşullarında oda sıcaklığında bekletilmiştir. Elde edilen hafif harçların birim hacim ağırlık (TS EN 1015-10), kapiler su emme (TS EN 1015-18) ve basınç dayanım testleri (TS EN 1015-11) ilgili standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir test için 4 adet numune kullanılmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınmıştır.



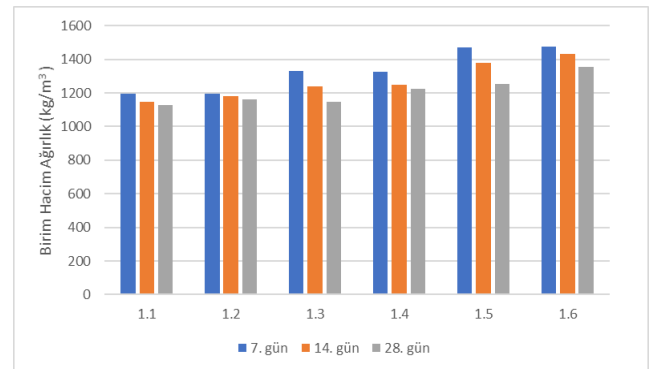
Şekil 5. Farklı Tane Boyutu Ve Çimento Miktarlarında Üretilen Hafif Harç Numuneleri

Hafif agregaların ön ıslatılması sırasında bünyesindeki boşluklara emdiği suyu daha sonraki aşamalarda yavaş yavaş bırakması ile elde edilen beton, dış ortandan su emmese bile hidrasyon ve dayanım artışı devam etmektedir. Devam eden hidrasyon agrega-matris ara yüzey aderansının çok güçlenmesine, ayrıca çatlak oluşumunda azalmayı beraberinde getirmektedir. Yüksek aşınma dayanımı ve düşük su, gaz ve klor geçirgenliği sonucu azalan bakım onarım maliyetleri ile kullanım ömrü de uzamaktadır. Hafifliği nedeniyle artan yangın dayanımı ile çelik yapıların kompozit döşemelerinde önemli avantajlar sağlamaktadır (Yolcu ve Girgin 2017).

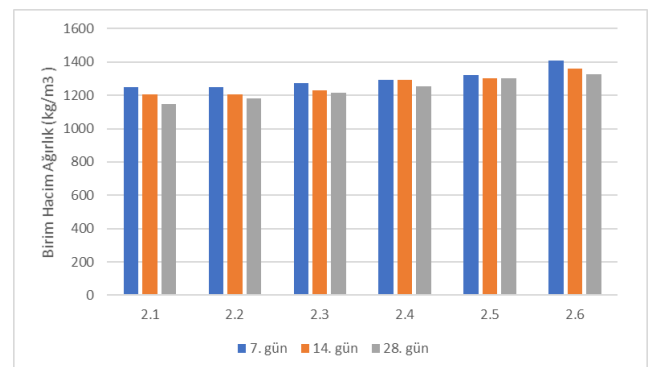
4. Bulgular

4.1 Birim Hacim Ağırlık

Yöntem kısmında belirtildiği gibi farklı tane boyutu ve çimento oranlarında karıştırılarak elde edilen hafif harç numunelerinin 1 ve 2 serileri için 7, 14 ve 28 günlük kür süresinden sonra belirlenen birim hacim ağırlık değerleri Şekil 6 ve 7'da verilmiştir.



Şekil 6. Hafif Harç 1. Seri Karışımlarından Elde Edilen Numunelerin Birim Hacim Ağırlık Değişimi



Şekil 7. Hafif Harç 2. Seri Karışımlarından Elde Edilen Numunelerin Birim Hacim Ağırlık Değişimi

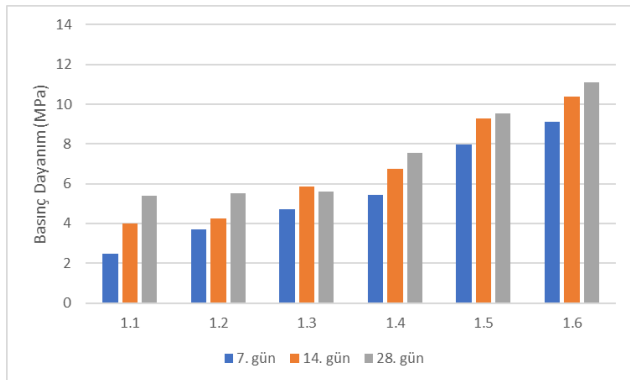
Numunelerin Birim Hacim Ağırlık Değişimi

1 serisi için hazırlanan hafif harç numunelerinde çimento miktarının artışına bağlı olarak BHA'larda kademeli olarak bir artış gözlenmiştir. Bu artışın nedeni olarak çimento miktarındaki artış, hem çimento hamurunun agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurma kapasitesinin fazla olması hem de çimentonun özgül ağırlığının daha yüksek olmasıdır (Kozak ve Ünal 2010). 7 günlük kür süresinde BHA'lar 1193-1474 kg/m³ aralığında iken 14 günlük kür süresinde 1146-1432 kg/m³, 28 günlük kür süresinde ise 1126-1355 kg/m³ değerlerine ulaşmıştır. Genel itibariyle kür süresi artışına bağlı olarak BHA'larda az da olsa sürekli olarak bir azalmanın olduğu gözlemlenmiştir. Benzer durum 2 serisinde de gözlenmektedir. Bununla beraber 2 serisindeki 0-2 mm tane boyutundaki malzeme miktarı %60 seviyelerinde olduğu için, BHA'larda çimento miktarındaki artışa bağlı olarak az da olsa bir artışın olduğu belirlenmiştir. 7 günlük sür süresinde 1250-1407 kg/m³, 14 günlük kür süresinde 1206-1360 kg/m³ ve 28 günlük kür süresinde 1146-1328 kg/m³ arasında değerler elde edilmiştir.

Hafif harç numunelerinde her iki seri birlikte değerlendirildiğinde, artan kür süresi ile BHA'larda belirli oranlarda azalmaların olduğu gözlemlenirken, çimento miktarındaki artış, numunelerin BHA'larında belirli oranlarda artışların meydana gelmesine neden olmuştur. Daha fazla ince boyutlu malzeme olan 2 serinin BHA değerleri, ince agreganın çimento ile daha iyi bağlanması, boşluk miktarının az olması nedeniyle daha yüksek çıkmaktadır. Yine de elde edilen BHA'lar 2000 kg/m³ değerinden az (Kılınçarslan ve diğ. 2018; Serin ve diğ. 2007) olduğu için bu malzemelerin hafif yapı malzemesi olmasını sağlamaktadır.

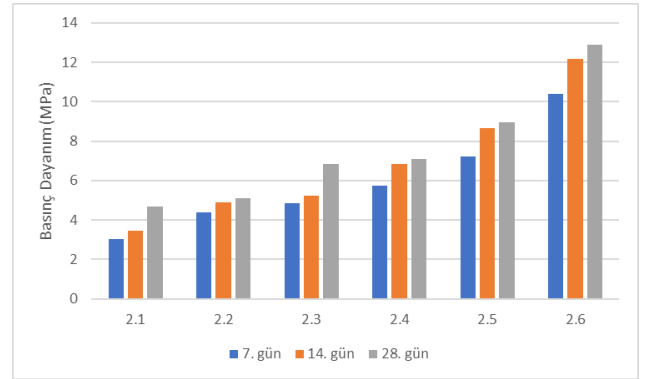
4.2 Basınç Dayanım

Farklı tane boyutu ve çimento oranlarında karıştırılarak elde edilen hafif harç numunelerinin 1 ve 2 seri için 7, 14 ve 28 günlük kür süresinden sonra oluşan basınç dayanım değerleri Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Hafif Harç 1. Seri Karışımlarından Elde Edilen

Numunelerin Basınç Dayanım Değişimi



Şekil 9. Hafif Harç 2. Seri Karışımlarından Elde Edilen Numunelerin Basınç Dayanım Değişimi

%40 0-2 mm ve %60 2-4 mm tane boyutundaki malzemelere artan miktarda ilave edilen çimento, tüm kür sürelerinde üretilen hafif harçların basınç dayanımlarını kademeli olarak arttırdığı gözlenmiştir. Bilindiği gibi çimento su ile bağlayıcı hamur oluşturmakta, agrega tanelerini birbirine bağlamakta ve olası boşlukları doldurarak karışımın basınç dayanımını olumlu yönde etkilemektedir (Kozak ve Ünal 2010). Çimento miktarı ile birlikte artan kür süresinde basınç dayanımlarının artmasına neden olmuştur. 1 serisinde 7 günlük kür süresinde 2,47-9,11 MPa olan basınç dayanım değerleri 14 günlük kür süresinde 4-10,38 MPa iken 28 günlük kür süresinde 5,4-11,10 MPa olduğu tespit edilmiştir. İnce taneli malzeme miktarının fazla olduğu 2 serisinde elde edilen basınç dayanım değerleri, 1 serisi ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu, bununda artan ince tanenin çimento ile çok daha sağlam bir yapı oluşturmasından kaynaklanmaktadır. 2 serisinin 7 günlük kür süresinde 3,04-10,38 MPa, 14 günlük kür süresinde 3,46-12,17 MPa ve 28 günlük kür süresinde 4,67-12,87 MPa arasında değerler elde edilmiştir. TS EN 998-1 standardında harç grupları 28 günlük basınç dayanımlarına göre 4 gruba ayrılmaktadır (0,4-2,5 MPa CS I, 1,5-5,0 MPa CS II, 3,5-7,5 MPa CS III ve ≥ 6 MPa CS IV). Volkanik tüf kullanılarak yapılan hafif harç numunelerinin büyük bir bölümü CS IV sınıfına girdiği görülmektedir.

4.3 Kapiler Su Emme

Son olarak farklı tane boyutu ve çimento oranlarında karıştırılarak elde edilen hafif harç numunelerinin 1 ve 2 seri için kapiler su emme değerleri ilgili standartta belirtildiği gibi sadece 28 günlük kür süresinde bekletilmiş numunelere yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 7 ve 8'de verilmiştir.

Tablo 7.

1 Serisi Hafif Harç Numunelerinin Kapiler Su Emme Test Sonuçları

Numune Kodu	Kapiler Su Emme kg/(m ² .dak ^{0.5})
1.1	8,66
1.2	7,07
1.3	2,64
1.4	2,52
1.5	1,29
1.6	0,64

Tablo 8. 2 serisi hafif harç numunelerinin kapiler su emme test sonuçları

Numune Kodu	Kapiler Su Emme kg/(m ² .dak ^{0.5})
2.1	3,44
2.2	3,13
2.3	3,04
2.4	2,16
2.5	1,45
2.6	0,72

Tablo 7 ve 8 incelendiğinde artan çimento miktarı kapiler su emme oranlarında sürekli olarak bir azalmanın meydana gelmesine neden olmuştur. Hafif harcı oluşturan ince tane boyutundaki malzemenin varlığı, karışım içerisindeki boşlukların da en düşük seviyelere inmesine neden olmuş, bunun için su emme oranlarında belirgin azalmaların meydana gelmesini sağlamıştır. TS EN 998-1 standardına göre harç grupları kapiler su emme değerlerine göre W0- W1 ve W2 olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Elde edilen değerler volkanik tüf ile üretilen hafif harçların W0 sınıfına girdiğini göstermektedir. Hafif harç içindeki iri taneli malzeme miktarındaki artış bünyedeki gözenekliliği arttırmakta, BHA değerlerinde de buna paralel olarak azalmanın olmasını sağlamaktadır, sonuç olarak da su emme miktarının artmasına neden olmaktadır.

5. Tartışma

Elde edilen sonuçlar toplu olarak değerlendirildiğinde hafif harç üretiminde 2 serisi sonuçlarının 1 serisine göre daha iyi seviyelerde olduğu Tablo 9'da görülmektedir. Tablo 9'da 2 serisi hafif harç numunelerinin (%60 0-2 mm, %40 2-4 mm) 28 günlük kür süresinden sonra elde edilen BHA, basınç dayanım ve su emme değerleri görülmektedir. Literatüre uygun olarak ince tane boyutundaki malzeme miktarındaki artış elde edilen hafif harç numunelerinin BHA değerlerinde belirgin bir artışın (1146-1328 kg/m³) olmasına neden olurken, basınç dayanım değerlerinde de belirgin bir artışın (4,67-12,87 MPa) olmasına neden

olmuştur. İnce tane boyutundaki malzeme miktarındaki artışa bağlı olarak oluşan gözeneklilikte azalacağından numunelerin su emme oranlarında da belirgin azalmaların (3,64-0,72) olmasına neden olmuştur. Bu hali ile elde edilen hafif harç numuneleri hafif yapı malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir.

Tablo 9.

2 Serisi Hafif Harç Numunelerin 28 Günlük Kür Süresindeki Test Sonuçları

Numune Kodu	28. Gün BHA (kg/m ³)	28. Gün Basınç Dayanımı (MPa)	28. Gün Kapiler Su Emme kg/(m ² .dak ^{0.5})
2.1	1146,64	4,67	3,64
2.2	1181,7	5,09	3,13
2.3	1214,57	6,82	3,04
2.4	1256,19	7,09	2,16
2.5	1303,28	8,94	1,45
2.6	1328,08	12,87	0,72

Hafif harç numunelerinin hafif yapı malzemesi olabilmesi için gerekli olan 2000 kg/m³ birim hacim ağırlık değerinin çok altında değerler elde edilmiş, TS EN 13055 standardında belirtilen 1100 kg/m³ değerine çok yakın değerler elde edildiği görülmektedir. Volkanik tüf numunelerinin sıkışma özelliğinin yüksek olması (Kozak ve Ünal 2010), bu sınır değerinin üstüne çıkılma sebebi sayılabilir. Elde edilen ürünlerin basınç dayanım değerleri incelendiğinden hemen hemen tüm numunelerin TS EN 998-1 standardında belirtilen CS III ve CS IV sınıfında olduğu belirlenmiştir. Son olarak hafif yapı malzemelerinin kapiler su emme oranlarının TS EN 998-1 standardına göre W0 sınıfında olduğunu göstermektedir.

6. Sonuçlar

Hafif yapı malzemesi olarak doğal agregaların (Pomza, volkanik tüf, diatomit vs.) kullanıldığı ve olumlu sonuçların alındığı çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda genel olarak İç Anadolu bölgesi civarında bulunan (Nevşehir, Kayseri, Niğde, Afyonkarahisar, Isparta vs.) havzalarda üretilen doğal agregalar kullanılmıştır. Volkanik tüf doğal volkanizma faaliyetleri sonucu oluşan, oldukça gözenekli, hafif ve kolaylıklar şekil verilebilen bir malzemedir. Ayvacık bölgesinde bu malzemenin kesilerek kullanıldığı örnekler mevcuttur. Kesilemeyen kısımların atık olarak atılması yerine belirli boyut gruplarında sınıflandırılıp, belirli oranlarda çimento ve su ile karıştırılarak farklı amaçlarda kullanılabilmesi düşünüldükçe bu çalışma şekillenmiştir. Çanakkale Ayvacık yöresi volkanik tüf agregaları hafif yapı malzemeleri olarak kullanılan çalışma sayısı oldukça sınırlı sayıdadır, bu rezervlerin ülke

ekonomisine doğru bir kullanım ile kazandırılması oldukça önemlidir. Yapılan bu çalışma ve elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde (12,82 MPa basınç dayanımı, 1328 kg/m³ birim hacim ağırlık ve 0,72 kg/(m².dak^{0.5}) kapiler su emme) , bu bölgede bulunan volkanik tüf agregalarının hafif yapı malzemesi üretilmesinde kullanılabilir özellikte olduğu tespit edilmiş, farklı çalışmaların yapılabilmesine zemin hazırlaması açısından önem arz etmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Seyide KILIÇALTAN, çalışmanın tasarlanması, verilerin elde edilmesi; Uğur DEMİR, çalışmanın tasarlanması, verilerin değerlendirilmesi, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, makalenin sonuçlarının hazırlanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Akyüncü V., (2019) *Pomza Agregalı Hafif Beton Blokların Mekanik Özelliklerinin Ve Yangın Etkisi Altındaki Davranışının İncelenmesi*. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, 147-157, doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.516853>
- Beycioğlu A., Başığit C., ve Kılınçarslan Ş., (2010). *Pomza Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Silis Dumanının Etkisi*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14-2,200-205, doi: [10.19113/sdufbed.22740](https://doi.org/10.19113/sdufbed.22740)
- Biçer A., (2020). *Make Use of Volcanic Slag as Aggregate in the Production of Concrete*. Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi, 2(2), 337-347, doi: <https://doi.org/10.47898/ijeased.790991>
- Bilgil A., ve Özdel H., (2017). "Pomza Esaslı Ve İgnimbirit Katkılı Hafif Yapı Malzemesinin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, 475-482 doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.341291>
- Ceylan H., ve Saraç M. S., (2006). *Farklı Pomza Agregası Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10-3,413-421, Erişim adresi:

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/sdufbed/issue/20781/221842>

- Çelik A. G., Kılıç A. M., ve Akkurt F., (2014). *Yapı Malzemesi Üretiminde Genleştirilmiş Perlit Agregası Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 29, No 3, 451-458, doi: <https://doi.org/10.17341/gummfd.80231>

- Daloğlu G., (2008). *Eskişehir-Derbent Tüflerinin Doğal Yapı Tası Olarak Değerlendirilebilirliği*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erişim adresi: http://openaccess.ogu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11684/1978/GULNAZ_DALOGLU_TEZ.pdf?sequence=1

- Davraz M., ve Başpınar E., (2011). *Agrega Porozitesinin Hafif Betonların Fiziko-Mekanik Özelliklerine Etkisi*. SDU International Technological Science, Vol. 3, No 3,pp 35-51, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/utbd/issue/25986/273727>

- Deniz O., Baba A., ve Tarcan G., (2010). *Çan Jeotermal Alanı'nın Hidrojeokimyasal ve Hidrojeolojik İncelenmesi*. Türkiye Jeoloji Bülteni Cilt 53, Sayı 2-3, Erişim adresi: https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/2b9702d71294c93_ek.pdf?dergi=T%DCRK%DDYE%20JEOLOJ%DD%20B%DCLTEN%DD

- Fidan Ş., Oktay H., ve Polat S., (2020). *Hafif Yapı Malzemelerinin Isıl İletkenlik Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi*. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, Cilt 10, Sayı 1, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/buyasambid/issue/55551/643721>

- Geçten O., ve Gül R., (2019). *Hafif Ve Normal Agregalı Betonlarda Atmosferik Kürün Su Emme, Rötme Ve Isı İletkenliği Üzerine Etkileri*. TÜBAV Bilim 12 (3), 20-31, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tubav/issue/49746/604813>

- Gökçe H. S., Şimşek O., Durmuş G., ve Demir İ., (2010). *Ham Perlit Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Alternatif Genleştirilmiş Perlit Kullanımının Etkisi*. Politeknik Dergisi, Cilt:13, Sayı: 2, s. 159-163, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/33053/367873>

- Gündüz L., ve Kalkan O. Ş., (2016) *Diyatonit Agregaların Çimento Esaslı Hafif Harç Özelliklerine Etkisi*, 8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu, Kütahya, Sayfa 284-294, Erişim adresi: https://www.maden.org.tr/resimler/ekler/489600fc2fec142_ek.pdf

- Kılınçarslan Ş., Davraz M., ve Akça M., (2018). *Pomza Agregalı Köpük Betonların Özelliklerinin*

- Araştırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 6(1), 148-153, doi: <https://doi.org/10.21923/jesd.358542>
- Kozak M., ve Ünal O., (2010). *Hafif Agregalı Blokların Özelliklerinin Araştırılması. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 6, No: 2, 17-30, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yted/issue/22211/238476>
- Özdemir A., (2002). *Bazı Yapı Malzemelerinin Kapiler Su Emme Potansiyelleri. Jeoloji Mühendisliği*, vol 26, no:1, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jmd/issue/52395/686371>
- Sarıışık A., ve Sarıışık G., (2010). "Yeni Üretim Prosesi İle Pomza Agregalı Hafif Beton Ve Eps Köpüklü İzolasyon Blok Üretimi Standartlara Uygunluğu Diğer Duvar Yapı Elemanları İle Karşılaştırılması" *Madencilik*, Cilt 49, Sayı 2, Sayfa 27-39, Erişim adresi: <http://www.mining.org.tr/tr/pub/issue/32481/361110>
- Serin G., Çankıran O., Başyığıt C., Taş H. H., ve Fenkli M., (2007). *Normal, Hafif ve Yarı Hafif Beton Blokların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (1) 15 - 22 Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yted/issue/22218/238528>
- Subaşı S., (2009). *Genleştirilmiş Kil Agregası İle Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi" Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 24, No 3, 559-567, Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6681/88309*
- Şahin S., ve Karaman S., (2012). *The Properties of Expanded Polystyrene - Pumice - Gypsum Blocks as a Building Material. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty* , vol 9, (1), Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/178388>
- Şapçı N., Gündüz L., ve Yağmurlu F., (2014). *Aksaray İgnimbritlerinin Doğal Hafif Agregası Olarak Kullanılabilirliği Ve Hafif Formda Boşluklu Duvar Blok Elemanlarının Üretiminde Değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 20, Sayı 3, 2014, Sayfalar 63-69 Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20487/218160?publisher=pamukkale>
- Tatlıdil H., ve Sancak E., (2013). *Pomza Agregalı Hafif Betonların Panel Duvar Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. SDU International Technologic Science*, Vol. 5, No 2, pp. 87-94, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/utbd/issue/26208/275926>
- Topçu İ. B., ve Toprak U., (2009) *Alkalilerle Aktive Edilmiş Taban Küllü Hafif Harç Üretimi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* Cilt:XXII, Sayı:2, 2009 Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ogummf/issue/30158/325452>
- TS EN 1015-10, (2001) *Kâgir harcı-Deney metotları-Bölüm 10: Sertleşmiş harcın boşluklu kuru birim hacim kütlelerinin tayini*
- TS EN 1015-11, (2020) *Kagir harcı - Deney yöntemleri - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın eğilmede çekme ve basınç dayanımının tayini*
- TS EN 1015-18, (2004) *Kâgir harcı - Deney yöntemleri - Bölüm 18: Sertleşmiş harcın kapiler etkiden kaynaklanan su emme katsayısının tayini*
- TS EN 13055-1 (2004) *Hafif agregalar - Bölüm 1: Beton, Harç ve Şerbette kullanım için*
- TS EN 998-1 (2017) *Kâgir harcı — Özellikler — Bölüm 1: Kaba ve ince sıva harcı*
- Ünal O., ve Uygunoğlu T., (2007). *Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması. İMO Teknik Dergi*, cilt:18 sayı:86, s: 4025 -4034 Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tekderg/issue/12772/155290>
- Yolcu C., ve Girgin Z. C., (2017). *Dünyada Yapay Hafif Agregalı Yapısal Beton Uygulamaları Ve Doğal Pomza Agregasının Kullanılabilirliği. Aurum Mühendislik Sistemleri Ve Mimarlık Dergisi*, Cilt 1, Sayı 2, Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ajesa/issue/36735/418489>

BARYUM VE MAGNEZYUM İÇEREN KATILARIN KARBONAT YÜKLÜ ÇÖZELTİLERLE ETKİLEŞİMİ

İlhan EHSANİ^{1*}, Arman EHSANİ², Abdullah OBUT³

¹ Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Böl., Şırnak,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-9741-8777>

² Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Böl., Adana,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-1758-8694>

³ Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Böl., Ankara,

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-2979-322X>

Anahtar Kelimeler

Öz

Baryum hidroksit
Baryum sülfat
Doğrudan dönüşüm
Magnezyum hidroksit
Magnezyum sülfat

Bu çalışmada, baryum ($Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ ve $BaSO_4$) veya magnezyum ($Mg(OH)_2$ ve $MgSO_4 \cdot 7H_2O$) içeren katıların, bir simitsonit ($ZnCO_3$) cevherinin sodyum hidroksit çözeltilerinde liçi sonrasında oluşan çözünmüş karbonat yüklü çözeltilerle etkileşimi, bu çözeltilerdeki çözünmüş karbonatın katı $BaCO_3$ veya $MgCO_3$ olarak ayrılması amacıyla, X-ışını kırınımı analizleri kullanılarak incelenmiştir. Çözünmüş karbonat yüklü çözeltilerin $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ ve $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ katılarıyla etkileşimini takiben, sırasıyla, tek faz olarak $BaCO_3$ ve ana faz olarak $Mg(OH)_2$ içeren katıların oluştuğu gözlenmiştir. Diğer taraftan, $BaSO_4$ ve $Mg(OH)_2$ katıların yüklü çözeltilerle herhangi bir etkileşime girmediği ve dönüşmeden kaldıkları belirlenmiştir. Bununla birlikte, çalışılan tüm deneysel koşullar altında, baryum veya magnezyum zinkat fazlarına dönüşümün olmadığı da ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışma kapsamında, toprak alkali baryum ve magnezyum içerikli katıların çözünmüş karbonat yüklü çözeltilerle etkileştirilmeleri sonrasında ilgili karbonat fazlarına dönüşüm özellikleri, bu katıların çözünürlükleri dikkate alınarak tartışılmıştır. Ayrıca, seçilmiş deneyler sonrasında elde edilen bazı dönüşmüş katıların kızılötesi spektrumları ve taramalı elektron mikroskop görüntüleri de bu çalışma kapsamında sunulmuştur.

INTERACTION OF BARIUM AND MAGNESIUM CONTAINING SOLIDS WITH CARBONATE LOADED SOLUTIONS

Keywords

Abstract

Barium hydroxide
Barium sulfate
Direct conversion
Magnesium hydroxide
Magnesium sulfate

In this study, the interaction of barium ($Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ and $BaSO_4$) or magnesium ($Mg(OH)_2$ and $MgSO_4 \cdot 7H_2O$) containing solids with dissolved carbonate-loaded solutions formed after leaching of a smithsonite ($ZnCO_3$) ore in sodium hydroxide solutions was investigated using X-ray diffraction analyses for the separation of dissolved carbonate as solid $BaCO_3$ or $MgCO_3$ in these solutions. It has been observed that solids containing $BaCO_3$ as a single phase and $Mg(OH)_2$ as a main phase are formed, respectively, following the interaction of dissolved carbonate-loaded solutions with $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ and $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ solids. On the other hand, it was determined that $BaSO_4$ and $Mg(OH)_2$ solids did not interact with the carbonate-loaded solutions and remained unconverted. However, no conversion to barium or magnesium zincate phases was also found under all studied experimental conditions. Within this study, the conversion properties of alkaline-earth barium and magnesium-containing solids to their corresponding carbonate phases after interacting with dissolved carbonate-loaded solutions were discussed considering the solubilities of these solids. In addition, infrared spectra and scanning electron microscope images of some converted solids obtained after selected experiments were also presented within the scope of this study.

Araştırma Makalesi

Research Article

* Sorumlu yazar; e-posta : ilhanehsani@sirnak.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/>).

Başvuru Tarihi	: 12.11.2021	Submission Date	: 12.11.2021
Kabul Tarihi	: 06.04.2022	Accepted Date	: 06.04.2022

1. Giriş

'Doğrudan dönüşüm' yöntemi, ticari ölçekte, sölestin (doğal SrSO_4) cevher ve/veya konsantrelerinden, kalıcı mıknaş, cam ve çeşitli stronsiyum kimyasallarının üretimleri ile piroteknikte kullanılan stronsiyum karbonatın (SrCO_3) eldesi amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde, SrSO_4 ($K_{\text{çç}}$: $3,44 \cdot 10^{-7}$; Lide, 2010) ve SrCO_3 ($K_{\text{çç}}$: $5,60 \cdot 10^{-10}$; Lide, 2010) katılarının çözünürlük çarpımı sabiti değerleri arasındaki büyük fark dolayısıyla, çözünmüş karbonat içeren sıcak haldeki sulu sodyum karbonat çözeltisiyle etkileştirilen sölestin $\text{SrSO}_4 + \text{CO}_3^{-2} \leftrightarrow \text{SrCO}_3 + \text{SO}_4^{-2}$ 'doğrudan dönüşüm' tepkimesi uyarınca stronsiyum karbonata dönüştürülmektedir (Castillejos, de la Cruz ve Uribe, 1996; Lide, 2010; Singerling, 2017). Öte yandan, sodyum karbonat kullanarak hidrotermal (150-250°C) koşullar altında (Suárez-Orduña, Rendón-Angeles, López-Cuevas ve Yanagisawa, 2004) veya mekanokimyasal yöntemlerle (Obut, Baláz ve Girgin, 2006; Setoudeh, Welham ve Azami, 2010) de sölestinin stronsiyum karbonata dönüştürülmesine yönelik farklı çalışmalar literatürde yer almaktadır. Bunların dışında, sodyum bikarbonat kullanarak sölestininden doğrudan dönüşüm yoluyla stronsiyum karbonat elde edilebileceği Yan, Zhang, Asselin, Duan ve Li (2021) tarafından gösterilmiştir.

Esas olarak galvanizleme işlemleri ile çeşitli alaşımların eldesinde kullanılan çinko, sfalerit (ZnS) içeren sülfürlü çinko cevherleri haricinde simitsonit (ZnCO_3) içeren sülfürlü olmayan tipteki çinko cevherlerinden de elde edilebilmektedir. Simitsonit cevherlerindeki çinkonun, bu cevherlerdeki en önemli safsızlıklar olan kalsit (CaCO_3), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ve/veya götit (FeOOH) minerallerine karşı, sodyum hidroksit liçiyle seçimli olarak çözelti fazına alınabildiği literatür çalışmalarıyla gösterilmiştir (Ehsani, Ucyildiz ve Obut, 2019; Kaya, Hussaini ve Kursunoglu, 2020; Kumaş, Ehsani ve Obut, 2020; Mujahed, 1966). Sodyum hidroksit liçi sonrasında ortaya çıkan ve çözünmüş halde karbonat (CO_3^{-2}), hidroksil (OH^-) ile zinkat (örn: $\text{Zn}(\text{OH})_4^{-2}$) türlerini içeren yüklü liç çözeltilerindeki çinko, çeşitli çöktürme yöntemleri kullanılarak metalik (Zn) veya bileşik (ZnO) formunda çözeltiden kazanılabilmektedir. Çözelti fazında kalan karbonat ise kalsiyum hidroksit kullanılarak $\text{CO}_3^{-2} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \leftrightarrow 2\text{OH}^- + \text{CaCO}_3$ 'doğrudan dönüşüm' tepkimesi uyarınca çözeltiden ayrılabilen ve liç reaktifinin geri dönüşümü sağlanabilmektedir (Baroch, Hilliard ve Lang, 1953).

Sodyum hidroksit çözeltisi içinde yerel bir simitsonit cevherini liç ederek elde ettiği yüklü liç çözeltisiyle, kalsiyum içeren jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve analitik saflıkta kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) katılarını 'doğrudan dönüşüm' yöntemi prensibi çerçevesinde etkileştiren

Ehsani ve Obut (2019), yüklü çözelti içindeki çözünmüş çinkonun metalik çinko veya çinko oksit formları dışında, batarya, katalizör ve diğer bazı sektörlerde (Rubio-Caballero, Santamaría-González, Mérida-Robles, Moreno-Tost, Jiménez-López ve Maireles-Torres, 2009; Gómez-Ortiz, González-Gómez, de la Rosa-García, Oskam, Quintana, Soria-Castro, Gómez-Cornelio ve Ortega-Morales, 2014; Wang, Yang, Yang, Fan ve Wang, 2014; Min, Oh, Kim, Choi ve Eom, 2019; Ouanji, Ellouzi, Kacimi ve Ziyad, 2019; Zagada-Dominguez, de la Rosa-García, Ruiz-Gómez, López-González, Soria-Castro, Quintana ve Gómez-Cornelio, 2020) kullanılabilen sulu kalsiyum zinkat ($\text{CaZn}_2(\text{OH})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) formunda da elde edilebileceğini göstermiştir. Aynı çalışmada, ayrıca, yüklü çözelti içinde çözünmüş halde bulunan karbonatın, stronsiyum içeren sölestin ve analitik saflıkta stronsiyum sülfat katıları kullanılarak kalsiyum karbonata kıyasla daha yüksek ticari öneme sahip stronsiyum karbonat olarak 'doğrudan dönüşüm' yöntemi prensibi çerçevesinde çözelti fazından ayrılabilceği de gösterilmiştir.

Bu çalışmada ise yukarıda bahsedilen kalsiyum veya stronsiyum toprak alkali metallerini içeren katılarda olduğu gibi, genel olarak karbonat formlarının çözünürlük çarpımı sabiti değerleri hidroksit veya sülfat formlarına kıyasla daha düşük değerlerde olan baryum hidroksit/sülfat ile magnezyum hidroksit/sülfat katıları, ilk kez, yerel bir simitsonit cevherinin farklı derişimlerdeki sodyum hidroksit çözeltilerinde liç edilmesi sonrasında oluşan çözünmüş karbonat yüklü çözeltilerle etkileştirilmiş ve bu etkileşimler, oluşan dönüşmüş katıların X-ışını kırınımı (XRD), zayıflatılmış toplam yansıma kızılötesi spektroskopisi (ATR-IR) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analiz sonuçları kullanılarak incelenmiştir. Bu yolla, stronsiyum içeren katıların kullanımlarında gözleendiği gibi çözünmüş karbonatın yüklü çözeltilerden alternatif bir yöntem olarak baryum veya magnezyum içeren katıların kullanımıyla da ayrılıp ayrılamayacağı ortaya çıkarılmış olacaktır.

2. Malzeme ve Yöntem

Doğrudan dönüşüm deneylerinde, baryum hidroksit oktahidrat (ZAG Kimya, min. %99,2 $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), baryum sülfat (ZAG Kimya, min. %99,9 BaSO_4), magnezyum hidroksit (Sigma-Aldrich, min. %95,0 $\text{Mg}(\text{OH})_2$) ve magnezyum sülfat heptahidrat (Merck, min. %98,0 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) katıları ile birlikte klasik laboratuvar ekipmanları ve saf su kullanılmıştır.

Tipik bir 'doğrudan dönüşüm' deneyi, yerel (Kayseri) bir simitsonit cevherinin 3 M (4 M veya 8 M) NaOH çözeltisinde liç edilmesi sonrasında elde edilen 100 mL

hacmindeki çözünmüş karbonat içeren yüklü liç çözeltilisine, Ba:CO₃⁻² mol oranı 1:2 olacak biçimde hesaplanmış miktarlardaki baryum içeren katının (baryum hidroksit oktahidrat ya da baryum sülfat) ilavesiyle başlatılmıştır. Oda sıcaklığında, iki saat süreyle, kapalı bir borosilikat cam reaktör içinde sabit hızdaki manyetik karıştırma altında gerçekleşen etkileşimin (doğrudan dönüşümün) ardından gerçekleştirilen katı/sıvı ayırımı, yıkama ve kurutma (105°C'de) adımları ile dönüşmüş katı elde edilmiştir. Baryum içeren katılar kullanılarak gerçekleştirilen 'doğrudan dönüşüm' deneyleri, magnezyum içeren katılar (magnezyum hidroksit ve magnezyum sülfat heptahidrat) için de benzer biçimde tekrarlanmış olup uygulanan Mg:CO₃⁻² mol oranı 1:2 ve etkileşim süresi ise bir saattir. Her bir doğrudan dönüşüm deneyi neticesinde elde edilen dönüşmüş katı, daha sonra yapılacak XRD (Rigaku, CuKα ışınımı), ATR-IR (Perkin Elmer, Spectrum 2) ve SEM (FEI, Inspect F50) analizleri için kapalı cam kaplara konularak muhafaza altına alınmıştır. 3 M, 4 M ve 8 M NaOH çözeltileri kullanılarak elde edilmiş olan yüklü çözeltilerin içerdikleri çözünmüş karbonat miktarları sırasıyla 22,6, 22,9 ve 25,3 g/L olup (Ehsani ve diğ., 2019) bu çözeltilerdeki çözünmüş haldeki baskın tür CO₃⁻²'dir (Castillejos ve diğ., 1996). Simitsonit cevherinin liçi sırasında kullanılan sodyum hidroksit çözeltisi derişimleri, uygulanan toprak alkali metal:çözünmüş karbonat mol oranı ile etkileşim süreleri yapılan ön denemeler ve önceki literatür çalışmaları (Ehsani ve diğ., 2019; Ehsani ve Obut, 2019) yardımıyla belirlenmiştir. Yüklü çözeltiler içinde bulunan çözünmüş haldeki zinkat yüksek sıcaklıklarda duraysız olduğundan (Debiemme-Chouvy ve Vedel, 1991; Moezzi, Cortie ve McDonagh, 2011; Uekawa, Yamashita, Wu ve Kakegawa, 2004), tüm deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

Deneyisel çalışmalarda kullanılan baryum veya magnezyum içeren hidroksit ile sülfat katılarının çözünürlük çarpımı sabiti değerleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1

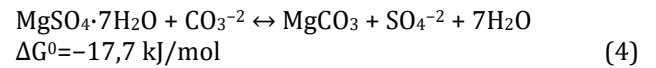
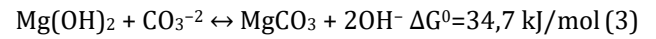
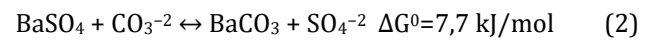
Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Katıların Çözünürlük Çarpımı Sabiti Değerleri (Lide, 2010)

Katı	Çözünürlük Çarpımı Sabiti
BaCO ₃	2,58·10 ⁻⁹
Ba(OH) ₂ ·8H ₂ O	Suda Çözünür*
BaSO ₄	1,08·10 ⁻¹⁰
MgCO ₃	6,82·10 ⁻⁶
Mg(OH) ₂	5,61·10 ⁻¹²
MgSO ₄ ·7H ₂ O	Suda Çözünür**

*: 3,76^{20°C} g/100 g H₂O; Patnaik, 2003

** : 71,0^{20°C} g/100 mL H₂O; Patnaik, 2003

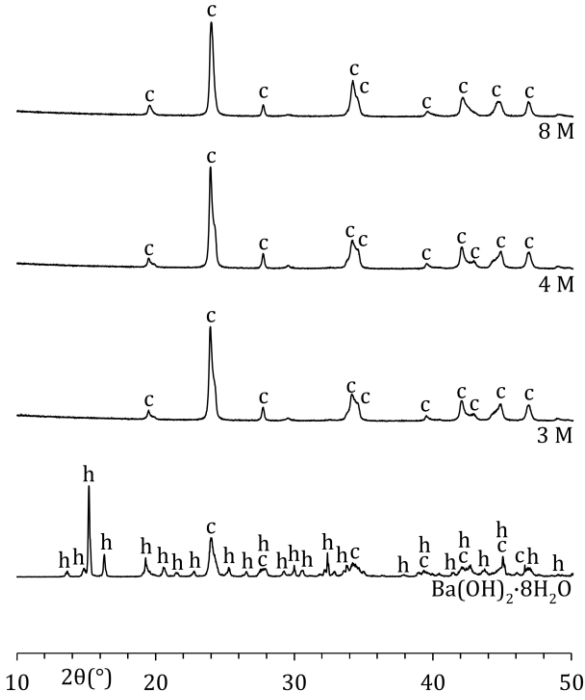
Deneylerde kullanılan toprak alkali metal hidroksit veya sülfat katılarının ilgili toprak alkali metal karbonatlara dönüşümlerine ilişkin teorik tepkimeler ile bu tepkimelerin serbest enerji değişimi değerleri (Benson ve Teague, 1980; Barin, 1995; Free, 2013) Denklem (1)-(4)'te sunulmaktadır. Denklem (1)-(4)'ten görüldüğü üzere çözünmüş karbonat içeren yüklü liç çözeltileri içinde Ba(OH)₂·8H₂O'nun BaCO₃'e ve MgSO₄·7H₂O'nun da MgCO₃'e dönüşümü termodinamik açıdan olası görünmektedir (ΔG⁰<0). BaSO₄ ve Mg(OH)₂ katılarının kullanıldığı deneylerde ise ilgili karbonat fazlarına dönüşümün olması beklenmemektedir (ΔG⁰>0).



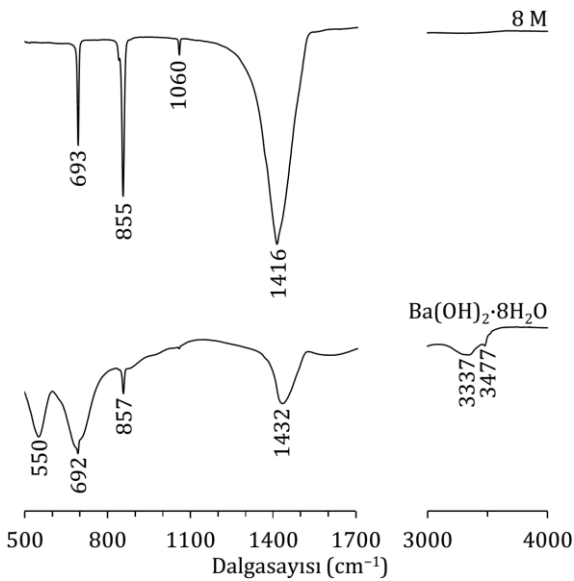
Simitsonit cevherinin 3 M, 4 M ve 8 M NaOH çözeltilerinde ayrı ayrı liç edilmesi sonrasında elde edilen üç ayrı karbonat yüklü çözeltiliyle Ba(OH)₂·8H₂O katısının etkileştirilmesi sonrasında oluşan dönüşmüş katıların XRD desenleri, orijinal Ba(OH)₂·8H₂O katısının deseni ile birlikte Şekil 1'de verilmektedir. Şekil 1'den görüldüğü üzere bazı önemli pikleri 2θ=15,15°, 16,26° ve 19,24°'de (XRD kart no.: 26-0155) bulunan Ba(OH)₂·8H₂O katısına ait tüm XRD pikleri dönüşmüş katıların desenlerinde yer almamaktadır. Uygulanan her bir NaOH derişimi için de geçerli olmak üzere, oluşan dönüşmüş katıların desenleri tümüyle BaCO₃ fazına ait olan XRD piklerini, örn.: 2θ=23,92°, 34,13° ve 42,04°'de (XRD kart no.: 05-0378), içermektedir. Su içinde çözünür (Tablo 1) Ba(OH)₂·8H₂O'nun su içinde çok az çözünür BaCO₃'e (0,0025^{25°C} g/100 mL H₂O; Patnaik, 2003) dönüşümünün hem iki katı arasındaki büyük çözünürlük farkı hem de ilgili dönüşüm tepkimesinin (Denklem (1)) oldukça düşük serbest enerji değişimi değerine sahip olması dolayısıyla gerçekleştiği düşünülmektedir.

Ba(OH)₂·8H₂O katısının BaCO₃ katısına dönüşümü ATR-IR analiziyle de incelenmiş olup simitsonit cevherinin 8 M NaOH çözeltilisinde liç edilmesi sonrasında elde edilen karbonat yüklü çözeltiliyle Ba(OH)₂·8H₂O'nun etkileştirilmesi sonrasında oluşan BaCO₃'ün ATR-IR spektrumu da Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 2'de 1416 cm⁻¹, 1060 cm⁻¹, 855 cm⁻¹ ve 693 cm⁻¹ dalgasayı değerlerinde gözlenen ve sırasıyla BaCO₃ katısının yapısında yer alan karbonat gruplarının asimetric gerilme, simetric gerilme, düzlem dışı eğilme ve düzlemsel eğilmesine ait olan absorpsiyonlar (Adler ve Kerr, 1963), Şekil 1'de verilen XRD analiz sonuçlarıyla uyumlu olarak Ba(OH)₂·8H₂O katısının tümüyle BaCO₃

katısına dönüştüğünü işaret etmektedir. Orijinal $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ katısının XRD deseninde yer alan düşük şiddetli $BaCO_3$ piklerinin havadaki karbon dioksit ile etkileşim sebebiyle oluştuğu düşünülmekte olup (Zhang ve Saito, 1997), orijinal $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ katısının ATR-IR spektrumunda 1432 cm^{-1} , 857 cm^{-1} ve 692 cm^{-1} dalgasayısı değerlerinde yer alan karbonat gruplarına ait piklerin varlığı da bu düşüncüyü desteklemektedir.

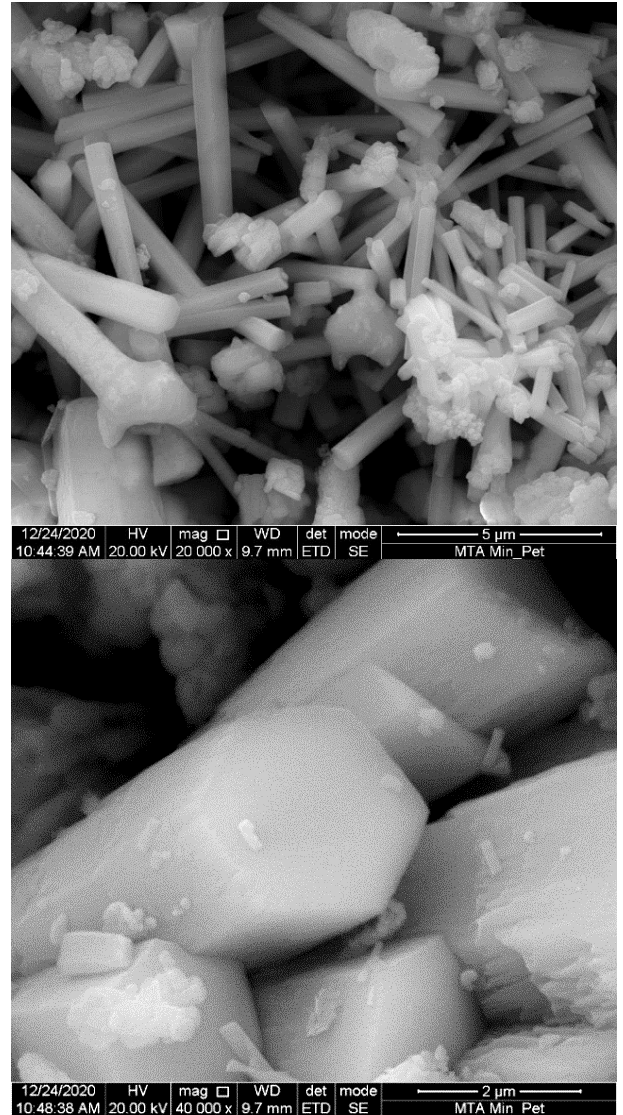


Şekil 1. $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ Katısı Kullanılarak Elde Edilen Dönüşmüş Katıların XRD Desenleri (h: $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$, c: $BaCO_3$)



Şekil 2. $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ Katısı Kullanılarak Elde Edilen Dönüşmüş Katının ATR-IR Spektrumu

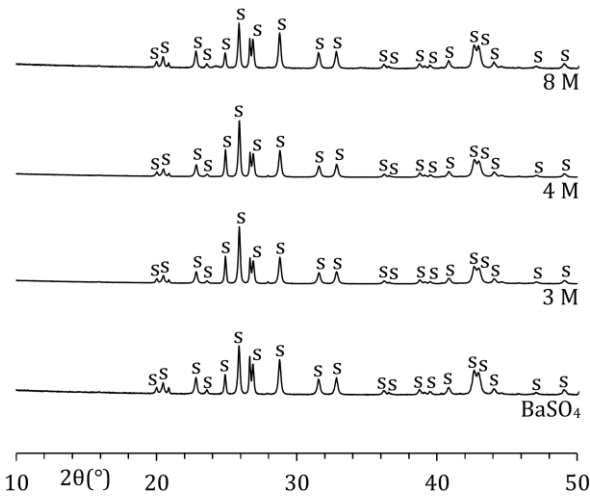
Simitsonit cevherinin 8 M NaOH çözeltisinde liçi sonrasında oluşan karbonatlı çözeltiyle $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ katısının etkileşimi neticesinde elde edilen $BaCO_3$ katısının SEM görüntüleri ise Şekil 3'te sunulmaktadır. Şekil 3'ten görüleceği üzere doğrudan dönüşüm yoluyla oluşan $BaCO_3$ katısı (kristal sistemi: ortorombik), çeşitli literatür çalışmalarından da görüldüğü gibi (Shamsipur, Pourmortazavi, Hajimirsadeghi ve Roushani, 2013; Sreedhar, Satya Vani, Keerthi Devi, Sreeram ve Basaveswar Rao, 2012; Xu ve Xue, 2006), farklı boy/çap oranlarına sahip altıgen kesitli çubuk şeklindeki tanelerden oluşmaktadır.



Şekil 3. $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ Katısı Kullanılarak Elde Edilen Dönüşmüş Katının SEM Görüntüleri

Şekil 4'te simitsonit cevherinin 3 M, 4 M ve 8 M NaOH çözeltilerinde liçi neticesinde ortaya çıkan karbonatlı çözeltilerle $BaSO_4$ 'ün etkileştirilmesi sonrasında oluşan katıların XRD desenleri, orijinal $BaSO_4$ katısının XRD

deseniyle birlikte görülmektedir. Bazı şiddetli pikleri $2\theta=25,86^\circ$, $28,75^\circ$ ve $42,62^\circ$ 'de (XRD kart no.: 24-1035) bulunan $BaSO_4$ 'e ilişkin tüm XRD piklerinin dönüşmüş katıların desenlerinde de aynı açı değerlerinde yer aldığı Şekil 4'ten izlenebilmektedir. Bu durum, $BaCO_3$ 'e kıyasla $BaSO_4$ 'ün daha düşük çözünürlük çarpımı sabiti değerine (Tablo 1) ve Denklem (2)'deki teorik dönüşüm tepkimesinin pozitif serbest enerji değişimi değerine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Öte yandan, baryum sülfatın baryum hidroksite de dönüşmediği, Şekil 4'te verilen XRD desenlerinden ve $BaSO_4 + 2OH^- \leftrightarrow Ba(OH)_2 + SO_4^{2-}$ ($\Delta G^0=72,6$ kJ/mol) tepkimesinin pozitif serbest enerji değişimi değerinden anlaşılmaktadır.

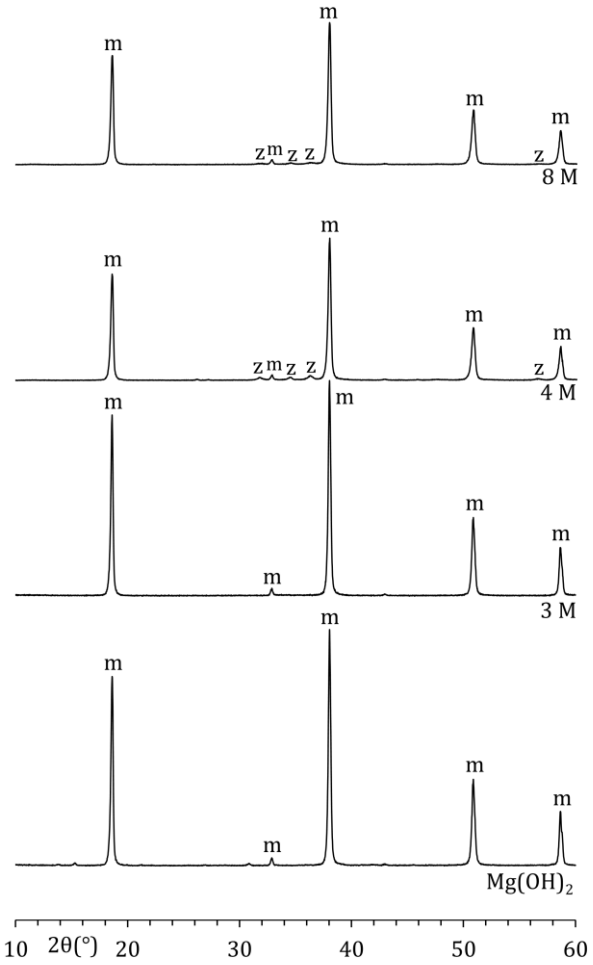


Şekil 4. $BaSO_4$ Katsısı Kullanılarak Elde Edilen Dönüşmüş Katıların XRD Desenleri (s: $BaSO_4$)

Simitsonit cevherinin NaOH çözeltilerindeki liç işlemi sonrasında oluşan ve çözülmüş karbonat, hidroksil ile zinkat iyonlarını içeren yüklü liç çözeltileri kullanılmış olmasına rağmen dönüşüm deneyleri sonrasında, baryum içeren her iki katının kullanımı için de geçerli olmak üzere, $BaZn(OH)_4 \cdot xH_2O$ ve $Ba_2Zn(OH)_6$ gibi farklı bileşimlere sahip sulu ve/veya susuz baryum zinkat katılarına (Scholder ve Weber, 1933; Monk ve Mortifee, 1960; Stahl ve Jacobs, 1998a,b) dönüşümün olmadığı XRD analizleri (bkz. Şekil 1 ve Şekil 4) ile ortaya çıkarılmıştır. Baryum zinkat katılarına ilişkin herhangi bir çözünürlük çarpımı sabiti değerini içeren literatür çalışmasına rastlanılmadığı için olası baryum zinkat fazlarının oluşumu hakkında detaylı bir tartışma yapılamamıştır.

Simitsonit cevherinin 3 M, 4 M ve 8 M NaOH çözeltilerinde liç ile oluşan karbonat yüklü çözeltilerle $Mg(OH)_2$ 'nin etkileştirilmesi sonrasında elde edilen katıların XRD desenleri, orijinal $Mg(OH)_2$ katısının deseniyle beraber Şekil 5'te verilmektedir. Şekil 5'ten görüldüğü gibi $Mg(OH)_2$ 'ye ait tüm XRD pikleri (XRD

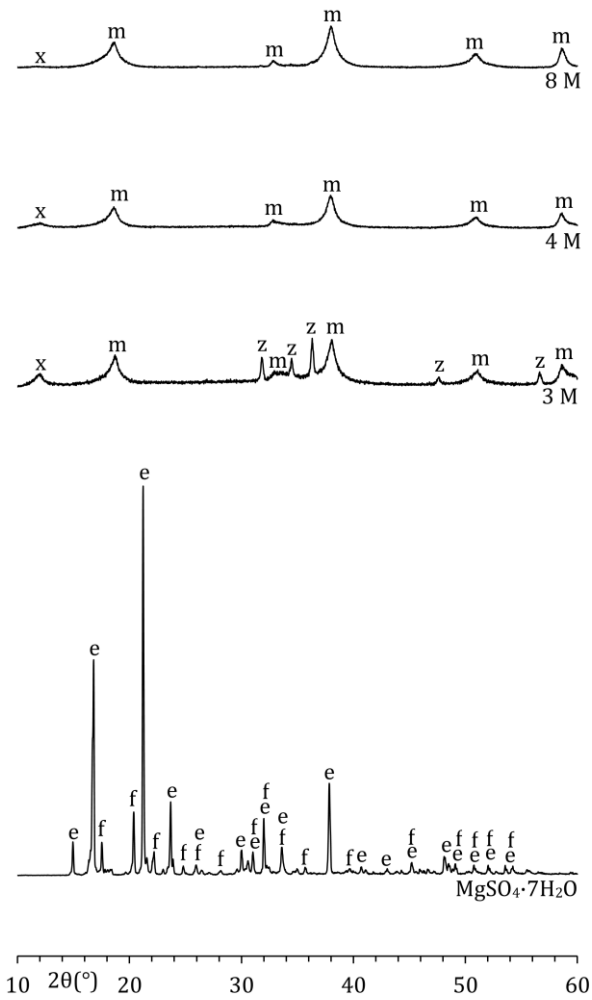
kart no.: 44-1482) dönüşmüş katıların desenlerinde de yer almakta olup, uygulanan tüm NaOH derişimleri için geçerli olmak üzere, teorik olarak yazılan Denklem (3) uyarınca $MgCO_3$ fazına dönüşüm gerçekleşmemektedir. Bu durumu, $MgCO_3$ katısına kıyasla, $Mg(OH)_2$ katısının çok daha düşük çözünürlük çarpımı sabiti değerine (Tablo 1) ve Denklem (3)'te verilen dönüşüm tepkimesinin oldukça büyük pozitif serbest enerji değişimi değerine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 4 M ve 8 M NaOH kullanılan durumlar için dönüşmüş katıların içinde eser miktarlarda çinko oksitinin (ZnO , XRD kart no.: 36-1451) bulunduğu Şekil 5'ten görülebilmektedir.



Şekil 5. $Mg(OH)_2$ Katsısı Kullanılarak Elde Edilen Dönüşmüş Katıların XRD Desenleri (m: $Mg(OH)_2$, z: ZnO)

Şekil 6'da simitsonit cevherinin 3 M, 4 M ve 8 M NaOH çözeltilerinde liç edilmesi sonrasında elde edilen karbonatlı çözeltilerle $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 'nun etkileştirilmesi yoluyla oluşan katıların XRD desenleri, orijinal $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 'nun deseni ile birlikte kıyaslamalı olarak verilmektedir. Şekil 6'dan görüleceği üzere $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ katısı tümüyle dönüşüme uğramakta ve tüm XRD pikleri (XRD kart no.: 36-0419) etkileşim sonrasında oluşan

dönüşmüş katıların desenlerinde yer almamaktadır. Her bir dönüşmüş katının XRD deseni de Denklem (4) uyarınca oluşması beklenen $MgCO_3$ fazı yerine $Mg(OH)_2$ fazına ait XRD piklerinden (XRD kart no.: 44-1482) oluşmaktadır. $MgCO_3$ 'e kıyasla $Mg(OH)_2$ 'nin çözünürlük çarpımı sabiti değerinin oldukça düşük olması ve Denklem (4)'e kıyasla daha düşük serbest enerji değişimi değerine sahip $MgSO_4 \cdot 7H_2O + 2OH^- \leftrightarrow Mg(OH)_2 + SO_4^{2-} + 7H_2O$ ($\Delta G^0 = -52,4$ kJ/mol) tepkimesinin varlığı sebepleriyle, etkileşimi takiben $MgCO_3$ yerine $Mg(OH)_2$ katısı oluşmaktadır. Diğer taraftan, orijinal $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ katısı, XRD deseninden (Şekil 6) görüldüğü üzere düşük miktarlarda $MgSO_4 \cdot 6H_2O$ (XRD kart no.: 24-0719) fazını da içermektedir.

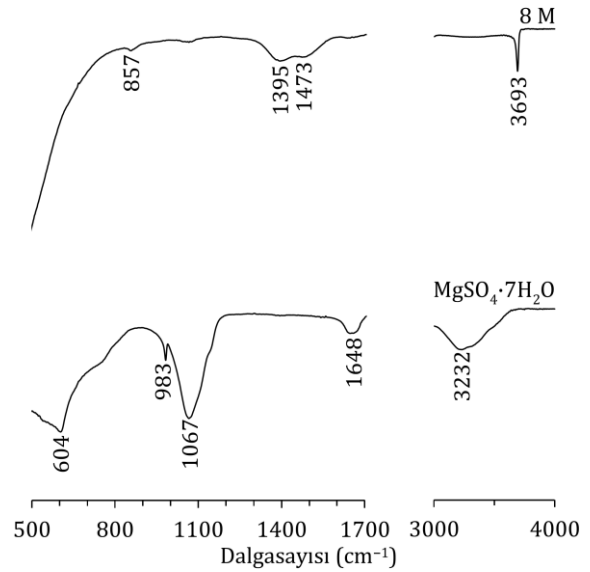


Şekil 6. $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ Katısı Kullanılarak Elde Edilen Dönüşmüş Katıların XRD Desenleri (e: $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, f: $MgSO_4 \cdot 6H_2O$, m: $Mg(OH)_2$, z: ZnO , x: Tanımlanamadı.)

3 M NaOH çözeltisi ve $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ katısı kullanılarak elde edilmiş olan dönüşmüş katı (bkz. Şekil 6, desen 3 M), ana faz olan $Mg(OH)_2$ ile birlikte düşük miktarlarda çinko oksit ve eser miktarlarda da tanımlanamayan ayrı bir faz içermektedir. 4 M ile 8 M NaOH kullanılan

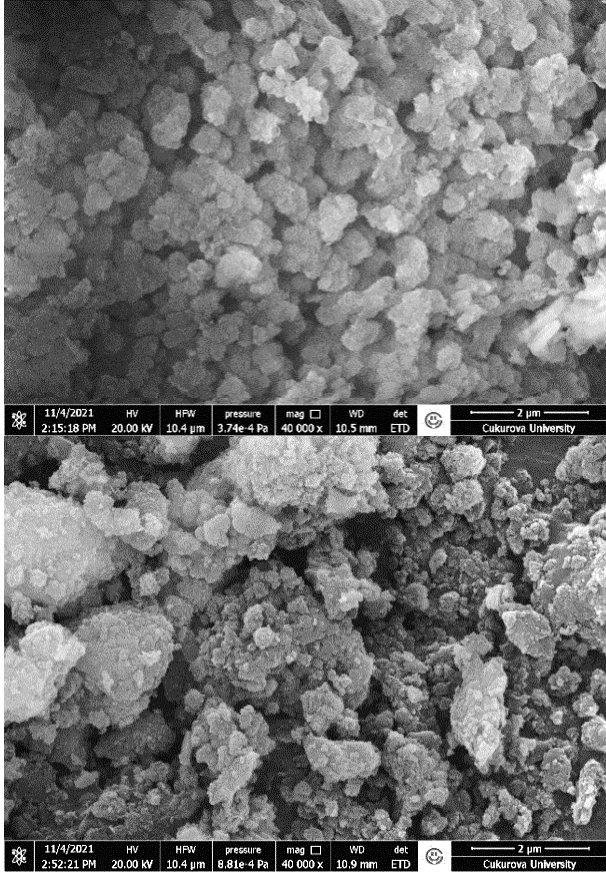
durumlarda elde edilen dönüşmüş katılar ise ana faz olan $Mg(OH)_2$ ile birlikte çok daha düşük miktarlarda yine tanımlanamayan ayrı bir fazı içermektedirler.

$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 'nun $Mg(OH)_2$ 'ye dönüşümü ATR-IR analizi kullanılarak da izlenmiş olup 8 M NaOH kullanımında elde edilen ve en az miktarda safsızlık içeren (bkz. Şekil 6, desen 8 M) dönüşmüş katının ATR-IR spektrumu Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7'de 3693 cm^{-1} dalgasayısı değerinde gözlenen absorpsiyon pikininin, $Mg(OH)_2$ 'nin yapısında yer alan hidroksil gruplarının gerilmesinden kaynaklandığı öngörülmektedir (Chukanov, 2014). Ayrıca, karbonat gruplarıyla ilgili olduğu ve 1473 cm^{-1} , 1395 cm^{-1} ve 857 cm^{-1} dalgasayısı değerlerinde yer alan piklerin de dönüşmüş katı içinde bulunan, muhtemelen karbonat grubu içeren (Huang ve Kerr, 1960), çok daha düşük miktarlardaki tanımlanamayan ayrı bir fazdan kaynaklandığı öngörülmektedir. Orijinal $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ katısının ATR-IR spektrumunda (Şekil 7) 604 cm^{-1} , 983 cm^{-1} ve 1067 cm^{-1} 'de gözlenen piklerin, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ içindeki sülfat gruplarının, sırasıyla, eğilme, simetrik gerilme ve asimetrik gerilmeleriyle ilişkili oldukları düşünülmektedir. 1648 cm^{-1} ve 3232 cm^{-1} dalgasayısı değerlerindeki pikler de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ katısı içindeki sudan kaynaklanmaktadır (Ruiz-Agudo, Putnis ve Rodriguez-Navarro, 2008).



Şekil 7. $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ Katısı Kullanılarak Elde Edilen Dönüşmüş Katının ATR-IR Spektrumu

$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ katısı kullanılarak elde edilen ve en az safsızlık içeriğine sahip olan 8 M dönüşmüş katısının farklı büyüklüklere sahip yuvarlak haldeki aglomere tanelerden meydana geldiği Şekil 8'de verilen SEM görüntülerinden gözlenmektedir.



Şekil 8. $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ Katısı Kullanılarak Elde Edilen Çözünmüş Katının SEM Görüntüleri

Baryum içeren katıların kullanımında olduğu gibi, çözünmüş karbonat ile birlikte hidroksil ve zinkat iyonlarını içeren yüklü liç çözeltileriyle magnezyum içeren katıların etkileştirilmeleri neticesinde de herhangi bir magnezyum zinkat fazının oluşumu gerçekleşmemiş olup bilinen herhangi bir magnezyum zinkat bileşiği de ilgili literatürde bulunmamaktadır (Ropp, 2013).

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, baryum veya magnezyum içeren hidroksit/sülfat katılarıyla sülfürlü olmayan tipteki yerel bir simitsonit çinko cevherinin farklı derişimlere sahip sodyum hidroksit çözeltilerinde liçi sonrasında ortaya çıkan ve çözünmüş halde karbonat ile çinko içeren yüklü çözeltiler arasındaki etkileşimler XRD analizleri kullanılarak ortaya çıkarılmıştır. Oldukça düşük çözünürlük çarpımı sabiti değerlerine sahip olan $BaSO_4$ ve $Mg(OH)_2$ katıları karbonat yüklü çözeltilerle etkileşmemekte iken suda çözünür $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ ve $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ katıları, sırasıyla, tek faz olarak $BaCO_3$ ve ana faz olarak $Mg(OH)_2$ içeren katılara dönüşmektedir. Deneysel çalışmalarda kullanılan karbonat yüklü liç çözeltileri çözünmüş halde zinkat iyonlarını da içeriyor

olmasına rağmen, gerçekleştirilen deneyler sonrasında baryum veya magnezyum zinkat fazlarına dönüşümün olmadığı da gözlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, simitsonit içeren çinko karbonat cevherlerinin sodyum hidroksit liçiyle değerlendirilmeleri esnasında ortaya çıkan yüklü çözeltilerdeki çözünmüş karbonatın, alternatif bir yöntem olarak, baryum hidroksit kullanımıyla çözelti fazından baryum karbonat formunda ayrılabilceğini işaret etmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, desteğinden dolayı, Yükseköğretim Kurulu Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı'na (ÖYP) teşekkür eder.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmaya; İlhan EHSANİ literatür araştırması, liç deneylerinin yapılması, bazı doğrudan dönüşüm deneylerinin yapılması, deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve makalenin yazımı; Arman EHSANİ aletsel analizlerin yapılması, deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve makalenin yazımı; Abdullah OBUT literatür araştırması, bazı doğrudan dönüşüm deneylerinin yapılması, deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve makalenin yazımı konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Adler, H.H. ve Kerr, P.F. (1963). Infrared absorption frequency trends for anhydrous normal carbonates. *American Mineralogist*, 48, 124-137.
- Barin, I. (1995). *Thermochemical Data of Pure Substances*. 3rd Edition, Weinheim, VCH.
- Baroch, C.T., Hilliard, R.V. ve Lang, R.S. (1953). The caustic electrolytic-zinc process. *Journal of The Electrochemical Society*, 100, 165-172. doi: <https://doi.org/10.1149/1.2781101>
- Benson, L.V. ve Teague, L.S. (1980). *A Tabulation of Thermodynamic Data for Chemical Reactions Involving 58 Elements Common to Radioactive Waste Package Systems*. Topical Report for Rockwell International, 97 sayfa.
- Castillejos, A.H.E., de la Cruz, F.P. del B. ve Uribe, A.S. (1996). The direct conversion of celestite to strontium

- carbonate in sodium carbonate aqueous media. *Hydrometallurgy*, 40, 207-222. doi: [https://doi.org/10.1016/0304-386X\(94\)00060-G](https://doi.org/10.1016/0304-386X(94)00060-G)
- Chukanov, N.V. (2014). *Infrared Spectra of Mineral Species*. Volume 1, Dordrecht, Springer.
- Debiemme-Chouvy, C. ve Vedel, J. (1991). Supersaturated zincate solutions: A study of the decomposition kinetics. *Journal of The Electrochemical Society*, 138, 2538-2542. doi: <http://dx.doi.org/10.1149/1.2086013>
- Ehsani, İ. ve Obut, A. (2019). Conversion behaviours of Sr- and Ca-containing solids in dissolved carbonate containing alkaline pregnant zinc leaching solutions. *Minerals Engineering*, 135, 9-12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.02.031>
- Ehsani, I., Ucyildiz, A. ve Obut, A. (2019). Leaching behaviour of zinc from a smithsonite ore in sodium hydroxide solutions. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 55, 407-416. doi: <https://doi.org/10.5277/ppmp18150>
- Free, M.L. (2013). *Hydrometallurgy: Fundamentals and Applications*. New Jersey, John Wiley & Sons.
- Gómez-Ortíz, N.M., González-Gómez, W.S., de la Rosa-García, S.C., Oskam, G., Quintana, P., Soria-Castro, M., Gómez-Cornelio, S. ve Ortega-Morales, B.O. (2014). Antifungal activity of $\text{Ca}[\text{Zn}(\text{OH})_3]_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ coatings for the preservation of limestone monuments. An in vitro study, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 91, 1-8. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.02.005>
- Huang, C.K. ve Kerr, P.F. (1960). Infrared study of the carbonate minerals. *American Mineralogist*, 45, 311-324.
- Kaya, M., Hussaini, S. ve Kursunoglu, S. (2020). Critical review on secondary zinc resources and their recycling technologies. *Hydrometallurgy*, 195, 105362. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105362>
- Kumaş, C., Ehsani, I. ve Obut, A. (2020). Dissolution properties of a dolomite containing zinc ore in sodium hydroxide solutions. *Scientific Mining Journal*, 59, 93-100. doi: <https://doi.org/10.30797/madencilik.757995>
- Lide, D.R. (2010). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 90th Edition, Florida, CRC Press.
- Min, Y.-J., Oh, S.-J., Kim, M.-S., Choi, J.-H. ve Eom, S. (2019). Calcium zincate as an efficient reversible negative electrode material for rechargeable zinc-air batteries, *Ionics*, 25, 1707-1713. doi: <https://doi.org/10.1007/s11581-018-2619-y>
- Moezzi, A., Cortie, M. ve McDonagh, A. (2011). Aqueous pathways for the formation of zinc oxide nanoparticles. *Dalton Transactions*, 40, 4871-4878. doi: <https://doi.org/10.1039/c0dt01748e>
- Monk, H. ve Mortifee, A.V.W. (1960). The system barium oxide, zinc oxide and water at 90° and 70°C. *Journal of Applied Chemistry*, 10, 456-460.
- Mujahed, S.B. (1966). *Electrowinning in Alkaline Medium-Electrolytic Production of Lead and Zinc from an Oxidized Ore from Develi (Kayseri) via Caustic Leaching* (Yüksek Lisans Tezi). Middle East Technical University, Ankara.
- Obut, A., Baláž, P. ve Girgin, İ. (2006). Direct mechanochemical conversion of celestite to SrCO_3 . *Minerals Engineering*, 19, 1185-1190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.11.001>
- Ouanji, F., Ellouzi, I., Kacimi, M. ve Ziyad, M. (2019). Ca-hydroxyzincate: Synthesis and enhanced photocatalytic activity for the degradation of methylene blue under UV-light irradiation, *Chemistry Africa*, 2, 395-400. doi: <https://doi.org/10.1007/s42250-019-00067-w>
- Patnaik, P. (2003). *Handbook of Inorganic Chemicals*. New York, McGraw-Hill.
- Ropp, R.C. (2013). *Encyclopedia of the Alkaline Earth Compounds*. Amsterdam, Elsevier.
- Rubio-Caballero, J.M., Santamaría-González, J., Mérida-Robles, J., Moreno-Tost, R., Jiménez-López, A. ve Maireles-Torres, P. (2009). Calcium zincate as precursor of active catalysts for biodiesel production under mild conditions, *Applied Catalysis B: Environmental*, 91, 339-346. doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2009.05.041>
- Ruiz-Agudo, E., Putnis, C.V. ve Rodriguez-Navarro, C. (2008). Interaction between epsomite crystals and organic additives. *Crystal Growth & Design*, 8, 2665-2673. doi: <https://doi.org/10.1021/cg070442n>
- Scholder, R. ve Weber, H. (1933). Das amphotere Verhalten von metallhydroxyden. II. Über zinkate. *Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie*, 215, 355-368.
- Setoudeh, N., Welham, N.J. ve Azami, S.M. (2010). Dry mechanochemical conversion of SrSO_4 to SrCO_3 . *Journal of Alloys and Compounds*, 492, 389-391. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.11.114>
- Shamsipur, M., Pourmortazavi, S.M., Hajimirsadeghi, S.S. ve Roushani, M. (2013). Applying Taguchi robust design to the optimization of synthesis of barium carbonate nanorods via direct precipitation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 423, 35-41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.01.042>
- Singerling, S.A. (2017). *Strontium - Advance Release*. U.S. Geological Survey Minerals Yearbook, 7 sayfa.

- Sreedhar, B., Satya Vani, Ch., Keerthi Devi, D., Sreeram, V. ve Basaveswar Rao, M.V. (2012). Biomimetic mineralization of BaCO₃ microstructures by simple CO₂ diffusion method. *American Journal of Materials Science*, 2, 105-109. doi: <https://doi.org/10.5923/j.materials.20120204.02>
- Stahl, R. ve Jacobs, H. (1998a). Synthese und kristallstruktur von Sr₂Zn(OH)₆ und Ba₂Zn(OH)₆. *Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie*, 624, 17-20. doi: <https://doi.org/10.1002/zaac.19976230816>
- Stahl, R. ve Jacobs, H. (1998b). Synthese und kristallstruktur von BaZn(OH)₄·H₂O. *Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie*, 624, 21-24. doi: <https://doi.org/10.1002/zaac.19976230167>
- Suárez-Orduña, R., Rendón-Angeles, J.C., López-Cuevas, J. ve Yanagisawa, K. (2004). The conversion of mineral celestite to strontianite under alkaline hydrothermal conditions. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 16, S1331-S1344. doi: <https://doi.org/10.1088/0953-8984/16/14/046>
- Uekawa, N., Yamashita, R., Wu, Y.J. ve Kakegawa, K. (2004). Effect of alkali metal hydroxide on formation processes of zinc oxide crystallites from aqueous solutions containing Zn(OH)₄²⁻ ions. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 6, 442-446. doi: <https://doi.org/10.1039/B310306D>
- Wang, R., Yang, Z., Yang, B., Fan, X. ve Wang, T. (2014). A novel alcohol-thermal synthesis method of calcium zincates negative electrode materials for Ni-Zn secondary batteries, *Journal of Power Sources*, 246, 313-321. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.07.097>
- Xu, J. ve Xue, D. (2006). Chemical synthesis of BaCO₃ with a hexagonal pencil-like morphology. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 67, 1427-1431. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2006.01.105>
- Yan, F., Zhang, X., Asselin, E., Duan, D. ve Li, Z. (2021). Preparation of strontium carbonate via celestite leaching in NaHCO₃ using two interconnected reactors. *Hydrometallurgy*, 204, 105729. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2021.105729>
- Zagada-Dominguez, U., de la Rosa-García, S., Ruiz-Gómez, M., López-González, R., Soria-Castro, M., Quintana, P. ve Gómez-Cornelio, S. (2020) Photocatalytic and antifungal activity of CaZn₂(OH)₆·2H₂O mixed with Ca(OH)₂ for its application in cultural heritage, *Journal of Photochemistry & Photobiology A: Chemistry*, 392, 112440. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2020.112440>
- Zhang, Q. ve Saito, F. (1997), Non-thermal production of barium carbonate from barite by means of mechanochemical treatment. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 30, 724-727. doi: <https://doi.org/10.1252/jcej.30.724>

YOLLARIN YAPIMI VE BAKIM ONARIMI İLE İLGİLİ BİLGİ SİSTEMİ OLUŞTURULMASI: MANİSA – SARUHANLI ÖRNEĞİ

Murat YAŞA¹, Tülin ÇETİN^{2*}

¹İnş.Yük.Müh., Manisa,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-1587-7142>

²Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-1511-7338>

Anahtar Kelimeler	Öz
Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yolların Yapım ve Bakım Onarımı Yol Üstyapısı Üstyapı Yönetimi	<i>Bu çalışmada Manisa İli Saruhanlı ilçesi sınırları dahilinde yer alan yolları kapsayan bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) oluşturularak elde edilen verilerin analiz edilmesiyle yolların bakım ve onarımları ile ilgili ön çalışma yapılabilirliğinin ortaya konması hedeflenmiştir. İlçe sınırları içerisinde bulunan yolların konumları, nazım imar planı ve uygulama imar planı çalışmaları ile uydu görüntülerinden faydalanılarak CBS'ne aktarılmıştır. Yollar, yollarda mevcut olan köprü ve menfezler, hemzemin geçitleri ve bakım ve onarımla ilgili ön çalışma esnasında gerekli olabilecek çeşitli veriler, mevcut projelerden ve yerinde yapılan saha incelemelerinin ardından sisteme girilmiştir. Oluşturulan CBS'nin isteğe bağlı sorgulanması ile, bakım ve onarım çalışmaları sırasında ihtiyaç duyulabilecek bilgilere rahatça erişildiği ve istenen şekil ve formatta sonuçların alınabildiği görülmüştür. Örnek vermek gerekirse, Belediye tarafından yıl içinde yapılması planlanan yol bakım ve onarımları ile ilgili ön çalışma için, sorumluluğu Belediye'de olan sathi kaplama yollar arasında bozulma durumu "Çok Kötü" olan yolların belirlenmesi istenebilir. Bu özelliğe sahip yolların listesi alınarak, toplam yol uzunlukları ve yol genişlikleri ile yolların ilçenin hangi bölümünde yer aldığı görülebilir. Böylece hem bakım onarım maliyetinin yaklaşık olarak belirlenmesi, hem de ilçe genelinde konum olarak bakım onarım planlaması yapılabilmesi mümkün olacaktır.</i>

CREATING AN INFORMATION SYSTEM REGARDING TO THE CONSTRUCTION, MAINTENANCE AND REPAIR OF ROADS: THE CASE OF MANISA – SARUHANLI

Keywords	Abstract
Geographical Information System (GIS) Construction, Maintenance and Repair of Roads Superstructure of Road Superstructure Management	<i>In this study, it is aimed to establish a Geographic Information System (GIS) related to the roads within the borders of Saruhanlı district of Manisa province and to analyze the data obtained from the GIS, and to reveal the feasibility of preliminary work on the maintenance and the repair of roads. The locations of the roads within the boundaries of the district were transferred to the GIS with the master zoning plan and the implementation zoning plan studies and using satellite images. Roads, bridges and culverts on the roads, level crossings and various data which will be required during the preliminary work on maintenance and repair, were entered into the program after the existing projects and on-site field investigations. With the optional query of the created GIS, it has been seen that the information that may be needed during the maintenance and repair works can be easily accessed and the results can be obtained in the desired shape and format. To give an example, for the preliminary work on the road maintenance and repairs planned by the Municipality during the year, it may be requested to determine the roads with "Very Bad" deterioration among the surface pavement roads whose responsibility lies with the Municipality. By getting the list of roads with this feature, total road lengths and road widths, and in which part of the district the roads</i>

* Sorumlu yazar; e-posta : tulin.cetin@cbu.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/>).

are located can be seen. Thus, it will be possible to determine the maintenance and repair costs approximately, and to make maintenance and repair planning in terms of location throughout the district.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 02.12.2021	Submission Date	: 02.12.2021
Kabul Tarihi	: 25.04.2022	Accepted Date	: 25.04.2022

1. Giriş

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de nüfus artışıyla birlikte kentler hızla büyümektedir. Büyümenin sonucu olarak yerel yönetimlerin sorumluluk alanlarının genişlemesi ile eldeki bilgi miktarının fazla olması, yönetsel olarak karar verme süreçlerinde ihtiyaç duyulan verilere kısa zamanda erişmenin zorlaşmasına neden olmaktadır. Tüm bilgilerin güncel bir şekilde saklanması ve ihtiyaç olduğunda hızlı bir şekilde erişilmesi oldukça önem arz etmektedir. Böylece hızlı ve daha doğru planlamalar yapılırken stratejik kararlar verilebilecektir.

İnsanların, diğer canlıların veya eşyaların bir yerden başka bir yere taşınması ulaşım olarak adlandırılmaktadır. Ulaşımın sağlanabilmesi için istenen iki yer arasında güzergahlar belirlenerek yollar oluşturulmaktadır. Yollar oluşturulurken, önce planlama aşamasında belirlenen kriterler doğrultusunda ihtiyaç duyulan projelerin hazırlanması, sonrasında da yapım çalışmaları olmak üzere iki aşamalı çalışma yürütülmektedir. Yolların tamamlanarak kullanıma sunulmalarının ardından, zaman içinde mevcut yollarda bozulma meydana gelmesi durumunda ise, yolun yeniden yapılma maliyetinin yüksek olması ve sürdürülebilir bir yaşam sağlamak için onarım yapılmasına karar verilmektedir. Belirli zamanlarda yolların bakımdan geçirilmesi ile, onarım veya yeniden yapım süreçlerinin mümkün olduğunca geciktirilmesi hedeflenmektedir. (Yaşa, 2020)

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) standartlarında üstyapının durumuna göre beş farklı bakım onarım stratejisi bulunmaktadır. Bu stratejiler, 1) bakıma gerek olmayabilir, 2) rutin bakım yapılması gerekebilir, 3) koruyucu bakım yapılabilir 4) takviye tabakası uygulanabilir ve 5) yolun yeniden yapılması gerekebilir, 'dir. Yollardaki bozulmaların durumuna göre bakım amaçlı yani geçici çözümler ve iyileştirme amaçlı yani kalıcı çözümler üretilebilir. Bakım metotlarından en yaygın olarak kullanılanlar, yamalar, çatlak dolgusu ve yalıtımı, koruyucu sathi kaplama ile ince yüzey kaplamasıdır. (Sağlık ve Güngör, 2008)

Bağdatlı ve Yıldırım (2017) çalışmalarında KGM Bakım Dairesi Başkanlığı onarım metotları doğrultusunda yapılan bakım ve onarımlar için 2010 yılı birim fiyatlarına göre maliyet analizleri yapmışlardır. Yaptıkları analizler sonucunda, esnek yol üstyapı kaplamalarındaki farklı bozulmaların bakım onarım maliyetlerini 4,49 - 21,93 TL/m² arasında değişen değerlerde olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmalarının

sonucunda esnek üstyapıya sahip yolların artması ile bakım ve onarım işlerinin de arttığını, bu konulardaki karar mekanizmalarında bütçenin çok önemli bir unsur olduğunu ortaya koymuşlardır. (Bağdatlı ve Yıldırım, 2017)

Karayolları Genel Müdürlüğü her yıl düzenli olarak "Devlet ve İl Yolları Bakım-İşletme Maliyetleri" ni bölge müdürlükleri ve şube şeflikleri bazında açıklamaktadır. 2019 yılına ait emanet ve ihaleli yol bakım birim maliyetlerinden, makalenin örnek çalışma alanı olan İzmir Bölge Müdürlüğüne bağlı Manisa Şube şefliği ile ilgili olanlar incelendiğinde, asfalt yol bakım birim maliyetinin 40641,- TL/Km olduğu görülmektedir. (KGM, 2020)

Kentsel yönetimlerdeki yetkili kurum olan belediyelerin önemli görevlerinden biri de sorumluluk alanlarındaki ulaşım ile ilgili olarak yolların yapımı ve ardından bakım ve onarımlarının gerçekleştirilmesidir. Yukarıda bahsi geçen maliyetlerin sadece mevcut yolların bakım ve onarımları ile ilgili olduğu dikkate alındığında, yolun yeniden yapılması, kaplama tipinin değiştirilmesi veya yeni yol yapılması gibi maliyetlerde düşünüldüğünde bu maliyetlerin belediyelerin bütçelerinde ne kadar önemli bir yer tuttuğu açıktır.

Ülkemizde iller arası yollardan KGM sorumlu iken, il içindeki dahili yollardan il belediyeleri sorumludur. İllerde büyükşehir veya merkez belediyelerin yanında ilçelerde de belediye yönetimleri bulunmaktadır. İlçe sınırları içinde bazı yollardan büyükşehir veya merkez belediyeleri sorumlu iken, bazı yollardan da bizzat ilçe belediyeleri sorumlu olmaktadır. Büyükşehir veya merkez belediyelerle kıyaslandığında ilçe belediyelerinin imkanları gerek bütçe gerekse personel açısından kısıtlıdır. İlçe belediyelerinin kısıtlı bütçe imkanları ile sorumluluk alanlarında yer alan yolların durumlarını takip ederek, hangi yollarla ilgili bakım onarım çalışmalarını yapabileceklerine karar vermeleri beklenmektedir.

Sahip oldukları bütçe ve personel kısıtlarına kıyasla ilçe belediyelerinin sorumlu oldukları yol ağı ve uzunluğu fazla olmaktadır. Bu durum, eldeki imkanların en uygun ve en fazla faydayı sağlayabilecek şekilde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca bahsedilen maliyet faktörü, yol bakım ve onarım çalışmaları ile ilgili stratejik kararların alınmasında geniş çaplı düşünme ve değerlendirmeyi gerektirmektedir.

Herhangi bir çalışmada ihtiyaç duyulan veriler aynı zamanda konumsal bilgileri de içeriyorsa, coğrafi bilgi

sistemlerinden faydalanılabilmektedir. Bu nedenle coğrafi bilgi sistemleri, günümüzde oldukça fazla alanda kendine yer bulmaktadır. Fazla miktarda bilgi arasında istenen bilgilerin toplu olarak ve belirli formatta ele alınabilmesi amacı, günümüzün son teknolojilerinden olan Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye şartlarında imkanları kısıtlı olabilecek küçük ölçekli belediyelerin, sorumluluk alanlarında bulunan yolların bakım ve onarımlarının gerçekleştirilmesinde mevcut kaynakların en optimum şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla CBS kullanımı incelenmiştir. Küçük ölçekli belediyelerde coğrafi bilgi sistemleri kullanımı ile üstyapı yönetiminin gerçekleştirilebileceği ve bu sayede kısıtlı imkanlarla ve sınırlı sayıda personel ile karar mekanizmalarının daha hızlı çalışabileceği ve maliyetin yanında zamandan da tasarruf edileceği gösterilmek istenmiştir. Bu amaçla Manisa İli Saruhanlı ilçesi örnek olarak alınmış, yollar ve yollarla ilgili bilgileri içeren bir CBS hazırlanmıştır. Hazırlanan CBS'nden alınan verilerin grafiksel olarak analiz edilmesiyle belediyelerin yollarla ilgili yapmayı planladıkları işlerle ilgili, güncellenebilir bir veri tabanı oluşturulması sayesinde ön çalışma yapılabilmesi hedeflenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma ile hızlı, kaliteli ve doğru iş planlaması yapılabileceği ve yerel idareler açısından faydası ortaya konmuştur.

Makalenin ilk bölümünde bilimsel yazın taramasına yer verilmiştir. Ardından coğrafi bilgi sistemlerinin kısa bir tanıtımı ve yolların bakım onarımı ile ilgili genel bilgiler sunulmuştur. Sonrasında çalışma için seçilen yerleşimin kısa tanıtımıyla birlikte hazırlanan çalışma anlatılmıştır. Yollarla ilgili bozulma durumunun belirlenmesine değinilip bulgular değerlendirilerek, elde edilen sonuçlardan bahsedilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Konu ile ilgili çalışmalar incelendiği zaman, dünyada ve Türkiye'de yolların kaplamaları ile ilgili mevcut bilgilerin bir üstyapı yönetim sistemine kaydedilerek, yolların bakım ve onarımları ile ilgili kararların alınmasında ve ihtiyaç olduğunda yeniden yol yapımı düşünülmesi durumunda karar verici konumdaki ilgili idarelere yardımcı olunmasının hedeflendiği görülmektedir. Üstyapı yönetimi sırasında bütçeyi dikkate alarak maliyetleri düşürmek amacıyla, yapılan tüm çalışmalarda maliyet unsurları da göz önüne alınmaktadır. Bu konuda farklı uygulamalar önerilirken, en çok kullanılan programlardan birinin coğrafi bilgi sistemleri olduğu anlaşılmaktadır

Jidol, Ejiri, Otazawa ve Kobayashi (2005) ve Kobayashi, Ejiri ve Do (2008) yol üstyapı bakım maliyetlerini kontrol etmek amacıyla muhasebe sistemi ile entegre bir üstyapı yönetim sistemi uygulaması önermişlerdir.

Pantha, Yatabe ve Bhandary (2010), Silva, Deus ve Tenedório (2012), Abulizi, Kawamura, Tomiyama ve Fujita (2016), Hadidi, Naghawi, Al Kilany ve Al Sharief (2016), Bazlamit, Ahmad ve Al-Suleiman (2017), Almuhanha, Ewadh ve, Alasadi (2018), Nodrat ve Kang (2018), Torres-Machi ve diğ. (2018), Ribeiro, Capitão ve Correia, (2019) ve Zagvozda, Dimter, Moser ve Barišić (2019) yaptıkları çalışmalarda farklı ülkelerdeki farklı şehirler ve bölgelerde yollardan sorumlu kurumların bakım ve onarım çalışmaları için ihtiyaç duyacakları yolların mevcut üstyapı durumları ve bozulmaları ile ilgili verileri CBS'ne girmişlerdir. Sonuçta bakım ve onarım ihtiyaçlarının tespit edilmesi, alternatif bakım planlarına karar verilmesi, maliyetlerin düşürülmesi ile ilgili, sorumlu kurumlara yardımcı olma konusunda CBS'nin etkin olarak kullanılabildiğini ortaya koymuşlardır.

Murat ve Saldıroğlu (2013), Terzi ve Ahmed (2020) ve Nautiyal ve Sharma (2021) CBS kullanımı ile ilgili çalışmalarında örnek olarak kırsal bölgelerde bulunan yolları dikkate almışlardır. Murat ve Saldıroğlu (2013) Denizli'deki köy yolları envanterinin güncellenmesi ve kırsal altyapı hizmetlerinin teknik yöntemlerle belirlenmesi için CBS destekli bir çalışma yapmışlardır. Terzi ve Ahmed (2020), çalışmalarında, iklim ve yol trafik hacmi verilerini de dikkate alarak kırsal yollarda CBS'nin üstyapı yönetim sistemi için kullanılabilirliğini göstermişlerdir. Nautiyal ve Sharma (2021) ise Hindistan'daki 203 kırsal yolun kaplama tipi, mevcut üstyapı durumu, trafik hacmi gibi verileri CBS'ne girerek, her yol için en uygun bakım ve onarım tekniği seçimi ile öncelik sıralaması yapmışlardır.

Tatar ve diğ. (2021), CBS'nin Türkiye'deki tarihsel gelişimini ve mevcut durumu inceleyerek benzer verilerin farklı kurumlarca kendi çalışma düzenlerine uygun olarak farklı tip, ölçek ve özelliklerde tutulduğunu ortaya koymuşlardır. Yine aynı çalışmada, yerel idarelerde verilerin CBS yerine çoğunlukla bilgisayar destekli çizim programları üzerinde tutulması, her verinin yeri geldiğinde farklı dosyalarda saklanması, konuyla ilgili verilerin bir veri tabanı ile bağlanamamasından dolayı veri depolama ve yönetimi konusunda zorluklarla karşılaşıldığını belirtmişlerdir.

Zhang, Smith ve Hudson (2001) bir coğrafi bilgi sistemini üstyapı yönetim sistemine entegre etmenin, sadece yeni bir yazılım ilave edip çalıştırmaktan ibaret olmadığını, başarılı bir CBS uygulamasının personel ve CBS becerileri, çalışılan organizasyonun yapısını ve kurumsal ilişkileri de içermesi gerektiğini ortaya koymuşlardır.

Fırat, Dursun, İnce, Talu ve Aydoğdu (2015), kentsel alt yapı sistemlerinin CBS üzerinde kontrol edilmesi, analizi, sorgulanması amacıyla web üzerinde çalışan bir yazılım geliştirmişlerdir. Çalışmalarında basılı kağıtlarda yürütülen, kontrolü zor ve zaman alıcı işlerin

sayısal ortamda rahatlıkla yapılabildiğini göstermişlerdir.

Yapılan bilimsel yazın taramasına göre, CBS'nin birçok alanda olduğu gibi üstyapı yönetim sistemi için de sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Üstyapı yönetimi ile ilgili CBS çalışmaları incelendiğinde, çalışmaların büyük çoğunluğunun bütün bir ili veya bölgeyi kapsayan büyük ölçekli sistemler olduğu görülmektedir. Büyük alanları içeren CBS'ni kurarken ve kullanırken gerek sahada gerekse bilgisayar başında çalışacak çok sayıda personele ihtiyaç olacağı açıktır. Bu çalışmada hedeflenen, bütçe kısıtlarının yanında personel yetersizliği çeken küçük belediyelerde bile CBS kullanımı ile yolların üstyapı durumlarının takip edilebileceğidir.

3. Yöntem

3.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Heywood, Cornelius ve Carver (1998) CBS'nin, coğrafi verileri bir araya getiren, kaydeden, kontrol edip istenilen amaç doğrultusunda kullanan, analiz eden bir sistem olduğunu söylemiştir. CBS'nin yapısı gereği bilgilerin tek bir sistem üzerinde bir arada bulunması ile, bilgi değişikliklerinin farklı yerlerde işlenmesi yerine aynı yerde işlenmesi sayesinde verilerin bir arada ve güncel halde olmalarına olanak sağlanmaktadır. Böylece hazırlanan veri tabanı ile doğru bilgiye en hızlı şekilde erişmek mümkündür. Kapsamı çok geniş ve maliyeti yüksek olan projelerde CBS kullanılmasının kazandıracığı zaman ve sağlayacağı maliyet karı oldukça büyük olacaktır. (Yaşa, 2020)

CBS'de çalışma, bilgilerin aynı koordinat sistemi üzerinde farklı tabakalarda girilmesi şeklinde olmaktadır. Sistemin farklı tabakalar ile çalışması sonucunda, ihtiyaç duyulması halinde sadece istenen verilerin görüntülenmesi sağlanarak verilerdeki değişikliklerin sisteme girilmesi kolaylaşmış ve sistemin güncel tutulması sağlanmış olmaktadır. Ayrıca istenen sayıda verinin istenen formatta bir arada görüntülenmesi, kullanıcılar açısından verimliliği arttırmaktadır. (Yaşa, 2020)

CBS üzerinde kullanılacak olan veriler, konumsal yani grafik veriler ve öznitelik bilgisi yani grafik olmayan veriler olarak iki grup altında toplanabilir. Grafik veriler, coğrafi detayların koordinatlar ile ifade edilmesiyle oluşturulan haritalardır. Grafik olmayan veriler ise, grafik verilerin tanımlanması amacıyla sözel ve tanımlayıcı olarak girişi yapılan öznitelik bilgileri için kullanılmaktadır. Grafik ve grafik olmayan verilerin birbiri ile ilişkilendirilmesi sonucunda, herhangi bir nesnenin konumsal ve öznitelik bilgilerinin bir arada analiz edilmesinin yolu açılmaktadır. İki gruptaki verilere, çalışmadan örnek vermek gerekirse, yolların uydu görüntüleri ve koordinatlarıyla birlikte harita üzerine işlenmesi grafik veri girişidir. Bu yolların

kaplama malzemeleri ve bozulma dereceleri gibi bilgiler kaydedilmesi ise grafik olmayan veri girişidir. (Yaşa, 2020)

CBS, belediyeler özelinde kent içi altyapı işleri, imar planları, fen işleri, ulaşım planlaması, beldelere götürülecek hizmetlerin planlanması ve buna benzer birçok alanda kullanılabilmektedir. Halihazırda bulunan yolların üstyapı durumlarının işlenmesiyle birlikte, yolların mevcut durumları ile ilgili eksikliklerin ve önceliklerin belirlenmesi, yeni yapılması düşünülen yolların planlanması ve ulaşım sistemlerinin oluşturulması mümkün olmaktadır. (Töreayen, Özdemir ve Kurt, 2013)

Ülkemizde yerli ve yabancı firmalara ait, Türkçe ve farklı dillerde menülere sahip çok sayıda CBS programı kullanılmaktadır. CBS programları incelendiğinde özünde aynı işlemleri yaptıkları görülmektedir. Tüm bu program çeşitliliğinde, imkanları kısıtlı küçük belediyeler için CBS seçerken, sistemi kullanacak personelin deneyim eksikliği göz önünde bulundurularak Türkçe menülere sahip ve kullanım kolaylığı olan programlar tercih edilmelidir. Programların temel işleyişi aynı olduğundan, yollarla ilgili hangi verilerin girileceği, bu verilerin CBS'nde yer alan veri tabanında ne şekilde yer alacağı yapılan çalışmalar arasındaki farkı ortaya koymaktadır. Bu çalışmada Saruhanlı Belediyesinde kullanılmaya potansiyeli olabilecek Türkçe menülere sahip bir CBS programı kullanılmıştır. Ancak oluşturulan veri tabanı formatı farklı CBS programlarına da uyarlanabileceğinden, CBS program ismi verilmemesi tercih edilmiştir.

3.2 Yolların Yapım Bakım ve Onarımı

Yol üstyapısında meydana gelen bozulmalar; yoldan geçen trafik sayısı ve yükleri, iklim faktörü ve çevre etkisi, yolun yapımı ve tasarımı sırasında yapılan hatalar, yolun yapımında kullanılan malzeme kalitesi gibi etkenlerden ileri gelmektedir. Bozulma tipleri, çatlaklar (timsah sırtı çatlak, kenar çatlakları, enine çatlaklar, boyuna çatlaklar, bölgesel çatlaklar) ve yüzey bozuklukları (tekerlek izi oluşması, ondülasyon, lokal oturmalar, terleme, segregasyon) olarak gruplandırılabilir. (Sağlık ve Güngör, 2008)

Onarım işlemine geçmeden önce meydana gelen hasarın tipinin belirlenmesi ve hasarın meydana gelme gerekçelerinin ortaya konması gerekmektedir. Böylece belirlenen hasar tipine göre hangi onarım yönteminin kullanılabileceği seçilerek yapılacak maliyet analiziyle birlikte ortaya konmaktadır. Sonraki aşamada ise idarelerin onarımın yapılmasına karar vermesi halinde çalışmalar başlamaktadır.

3.3 Çalışma

Ülkemizde yollardan sorumlu kurumlara bakıldığında, iller arası yollarla ilgili olarak KGM'nin, il içindeki yerel yollarla ilgili olarak ise belediyelerin sorumlu olduğu görülmektedir. Yerleşim birimleri içindeki yollar ile mahalleler ve beldeler arasındaki tüm yollarla ilgili çalışmalar belediyeler tarafından yürütülmektedir. Yollarla ilgili yapılan çalışmaların yüksek maliyetli olması nedeniyle, bu çalışmalar belediyelerin bütçelerinde önemli yer tutmaktadır. Yolların yapıldıktan sonra zaman içinde kapasite yetersizliği veya trafik ya da meteorolojik şartlardan dolayı bozulmaları nedeniyle yapılacak çalışmalar da, belediyelerin sorumluluğundadır. Bu nedenle belediyeler açısından mevcut yolların durumu ile ilgili bilgilerin değerlendirilmesi, yatırım planları açısından öncelikli konu haline gelmektedir. (Yaşa, 2020)

Bu çalışmada Manisa İli'nde yer alan Saruhanlı ilçesi sınırları içindeki yolların bakım ve onarımları sırasında ve yeni yolların planlanması durumunda ihtiyaç duyulabilecek bilgilerin CBS'nde tutulması ve konu ile ilgili yatırım planlamalarının yapılması sırasında bu bilgilerden faydalanılması hedeflenmektedir. Saruhanlı ilçesi sınırları içinde bulunan yolların mevcut durumları, üstyapı bilgileri, yol üzerinde bulunan köprü ve menfezler ile hemzemin geçitleri CBS üzerinde oluşturulan harita ve veri tabanına aktarılmıştır. Böylece yolların üstyapısı ile ilgili çalışmalar sırasında, yolda yer alan sanat yapısı ve geçit gibi yol unsurlarının da dikkate alınması hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda CBS kullanarak oluşturulan veri tabanı ile herhangi bir bakım ve onarım ve planlama çalışması öncesinde ihtiyaç duyulan verilere erişilmek istenmiştir. Böylece kaliteli, hızlı ve doğru iş planlamasının daha iyi yapılabilirliği ve güncellenebilen bir veri tabanı oluşturulmasının planlama açısından avantajları incelenmiştir. (Yaşa, 2020)

Saruhanlı ilçesi Şekil 1'den görüleceği üzere kuzeyde ve kuzeydoğuda Manisa ili Akhisar ilçesi, doğuda Manisa ili Gölçmarmara ilçesi, güneydoğuda Manisa ili Ahmetli ilçesi; güneyde Manisa ili Turgutlu ilçesi, güneybatıda Manisa merkezi ve kuzeybatıda İzmir ilinin Kınık ilçesi ile çevrilidir. İstanbul- İzmir devlet yolu ve İzmir-Bandırma tren hattı ile İzmir-Ankara tren hattı ilçe sınırlarından geçmektedir. (www.saruhanli.bel.tr, 2019)

2019 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçlarına göre Saruhanlı ilçesi, merkezde 21.209 , mahallelerde 34.131 kişi olmak üzere toplamda 55.340 kişilik nüfusa sahiptir. 2019 yılı itibarıyla Saruhanlı 50 mahalleden oluşmaktadır. (www.saruhanli.bel.tr, 2019)



Şekil 1. Manisa - Saruhanlı ilçesi sınırları

Saruhanlı ilçesinin çalışmaya esas alan olarak seçilme gerekçelerinden en önemlisi, çalışma sırasında Saruhanlı Belediyesi bünyesinde herhangi bir CBS veya üstyapı yönetim bilgi sistemi kullanılmıyor olmasıdır. Nüfusu küçük ve imkanları diğer belediyelere göre daha kısıtlı olan belediyelerde coğrafi bilgi sistemi kullanımı ile üstyapı yönetimi ve üstyapı konusunda yapılacak çalışmalarda bilgiye erişim kolaylığının gösterilmesi hedeflenmiştir.

KGM'nin 2019 yılı verilerine göre Manisa'da devlet ve il yollarının toplamı 1048 km. dir. (www.kgm.gov.tr, 2019) Saruhanlı sınırları içinden geçen İzmir – İstanbul otoyolu ve Saruhanlı kavşağı 2019 yılında yapımı tamamlanarak hizmete açılmıştır. Ayrıca Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından İzmir – Bandırma tren yolu hattı üzerinde hızlı tren çalışmaları sürdürülmektedir.

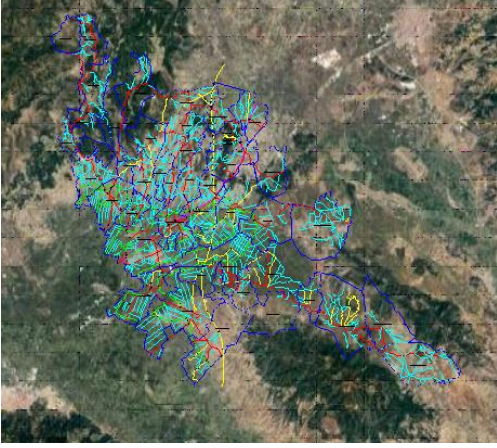
Saruhanlı ilçesinde mevcut olan yollarla ilgili olarak, ilçeden geçen devlet yolları ile otoyol KGM, köy-mahalle ve beldelerin bağlantı yolları ile ilçe içindeki 18m ve daha geniş yollar Manisa Büyükşehir Belediyesi, diğer yollar ise Saruhanlı Belediyesi sorumluluğundadır. Yollardaki asfaltlama ile bakım onarım çalışmaları, yolların sorumluluğunda olduğu kurumlar tarafından gerçekleştirilmektedir.

Çalışma kapsamında, ilçe sınırları içerisinde bulunan yolların belirlenebilmesi amacıyla planlanmış olan yollarla ilgili Saruhanlı belediyesine ait 1/5000 ölçekli nazım imar planı ile 1/1000 ölçekli uygulama imar planı çalışmaları ve uydu görüntüleri kullanılmıştır. CBS programları, Google, Yandex, Bing vs. gibi çeşitli sağlayıcıların haritaları ile çalışabilmektedir. Böylece uydu görüntülerinin anlık olarak çevrimiçi bir şekilde görüntülenmesi mümkün olmaktadır.

Planlar ve uydu görüntüleri yardımıyla, öncelikle ilçe ve ilçe sınırları içinde yer alan beldelerin sınırları belirlenmiştir. İlçe sınırları içinde bulunan ana yol ve bağlantı yolları temin edilen 1/5000 ölçekli nazım imar planından, diğer yollar ise 1/1000 ölçekli uygulama imar planından ve plansız olan alanlardaki yollar ise

uydu görüntülerinden ve 2019 yılı içinde yerinde yapılmış olan saha incelemelerinden faydalanılarak CBS 'ne aktarılmıştır.

CBS'de çizilen yollar cinslerine göre (otoyol, devlet yolu, bağlantı yolu gibi) gruplandırılarak, Şekil 2'de de görüleceği üzere, farklı renk ve katmanlarda kaydedilmişlerdir.



Şekil 2. CBS'de Oluşturulan Yol Güzergâhlarının Görüntüsü

Bu şekilde görsel olarak yollar arasında ayırım yapılabilmesi kolaylaştırılmış ve haritaya detaylı bakmaya gerek olmaksızın fikir edinilmesi hedeflenmiştir. Yol güzergâhlarının sistem üzerine işlenmesiyle beraber yollardaki köprü, menfez ve hemzenin geçitler de gerek mevcut planlar gerekse sahada yapılan incelemeler ile belirlenerek harita üzerine noktasal olarak kaydedilmiştir.

Söz konusu CBS, yolların yapım, bakım ve onarımında ön çalışma gerçekleştirilebilmesi amacıyla hazırlanmaktadır. Yol, köprü, menfez ve hemzemin geçitlerle ilgili yapılabilecek ön çalışmalarda gerekli olabilecek bilgiler, yapılan bilimsel yazın taraması sırasındaki incelemeler ve ilgili belediye yetkilileri ile yapılan görüşmeler dikkate alınarak, aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Yolların konumlarına göre ayırt edilebilmesi için il, ilçe ve mahalle bilgileri,
- Yolların birbirlerinden ayrılabilmesi için verilmiş olan yol isimleri,
- Yolun hangi amaca hizmet ettiğinin ve yol tipinin belirlenebilmesi için yol cinsi,
- Yapı, bakım ve onarımdaki çalışmaların maliyetlerinin tahmin edilebilmesi için yolların uzunluk ve genişlik değerleri,

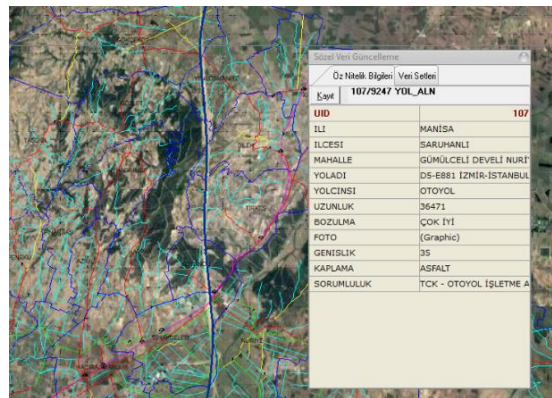
- Bakım onarım veya yenilemelerde kullanılacak olan malzemenin belirlenmesinde yardımcı olmak için mevcut yol kaplama malzemeleri,
- Yolun mevcut durumu ile ilgili bilgi verme amacıyla bozulma durumu,
- Yolla ilgili hatırlatma ve özellikle bozulma durumları ile ilgili bilgi verme amaçlı fotoğraflar,
- Yollardan sorumlu olan kurum bilgileri,
- Köprü ve menfezler için taşıyıcı sistem bilgisi,
- Geçitlerle ilgili kontrol durumu bilgisi.

CBS üzerinde temel olarak üç tabaka kullanılmıştır. Birinci tabakada ilçenin ve mahallelerin sınırlarını gösteren plan bulunmaktadır. İkinci tabakada yolla ilgili tüm detay bilgiler yer almaktadır. Üçüncü tabakada ise, yollarda bulunan köprü, menfez ve geçit noktalarının konumları ile ilgili bilgileri bulunmaktadır.

İlçe sınırları içinde yer alan yolların uzunlukları, güzergâhın CBS üzerinde işaretlenmesi ile otomatik olarak belirlenmiştir. Fotoğraf, yol genişliği, kaplama tipi, yolun sorumluluğunda olduğu kurum adı, yol adı, bozulma durumu ile ilgili bilgiler ise her yol özelinde farklı olmaları nedeniyle ayrı ayrı girilmiştir. Yolların genişliklerinin belirlenebilmesi için, mevcut planlar ile sahada yapılan inceleme çalışmalarında ölçülen genişlik değerleri karşılaştırılmıştır. Planlar ile saha ölçümlerinin tutarsız olması durumunda, daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmesi için sahada yapılan ölçümlerden elde edilen mevcut yol genişlikleri sisteme girilmiştir.

Mevcut yollardan sorumlu olan kurumlar, Saruhanlı Belediyesinden öğrenilerek sisteme giriş yapılmıştır.

CBS'nde girilen verilere örnek olarak Saruhanlı ilçesinden geçen İzmir - İstanbul otoyolu ile girişler Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Saruhanlı İlçesinden Geçen İzmir - İstanbul Otoyolu İle İlgili CBS 'de İşlenen Bilgiler

Yapılan incelemelerde 2019 yılı itibariyle Saruhanlı ilçesi sınırları içinde 164 betonarme köprü, 33 menfez geçidi ve 10 hemzemin geçit olduğu tespit edilmiştir. Köprülerle ilgili olarak sahada yapılan incelemelerde, köprü ayakları arası mesafeler ölçülerek köprülerin uzunlukları, köprü üzerinde kenarlarda bulunan korkuluklar arası mesafeler ölçülerek ise köprü genişlikleri belirlenmiştir. Girişi yapılan menfezler için, öncelikle Belediye’de projeleri olup olmadığı araştırılmıştır. Sonrasında yerinde yapılan ölçümlerle varsa menfez proje bilgileri kıyaslanarak menfezlerin boyutları belirlenmiştir. Saruhanlı ilçesinden geçen İzmir – Bandırma demiryolu hattını kesen hemzemin geçitlerle ilgili olarak, yerinde gözlem ve ölçümler yapılarak mesafe ve kontrol durumları sisteme girilmiştir.

3.4 Belirlenen Yollarda Bozulma Durumunun Belirlenmesi

Bu çalışmada yollarda bozulma tipleri Sağlık ve Güngör (2008) tarafından hazırlanan Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi’nde belirtildiği gibi timsah sırtı çatlaklar, kenar çatlakları, enine çatlaklar, boyuna çatlaklar, bölgesel çatlaklar, tekerlek izi oluşması, ondülasyon, lokal oturmalar, terleme ve segregasyon olarak alınmıştır. 2019 yılının haziran ve aralık ayları arasında çalışma alanı içindeki tüm yollarda yerinde yapılan inceleme ve gözlemlerle yol üstyapıları bozulma durumlarına göre değerlendirilmiş ve Tablo 1’de örneği verildiği gibi yolların üstyapı bozulma yüzdeleri belirlenmiştir. Aşağıda verilen Tablo 1’de elde edilen verilerin tamamı yerine, üç adet örnek yol verisi listelenmiştir.

Tablo 1

Bozulma Yüzdelerine Göre Üstyapı Değerlendirme Formu

Yol No	Kaplama	Yol Adı	Bozulma Tipi ve Yüzdeleri									
			Timsah Sırtı Çatlak	Kenar Çatlakları	Enine Çatlaklar	Boyuna Çatlaklar	Bölgesel Çatlaklar	Tekerlek izi Oluşması	Ondülasyon	Lokal Oturmalar	Terleme	Segregasyon (Agrega Ayrışması)
125	Sathi	Dilek Kayışlar Bağlantısı	25	35	30	25	40	35	35	30	35	0
152	Sathi	Çamliyurt Yolu	35	30	50	30	35	25	20	20	10	30
153	Sathi	Halitpaşa -Çınaroba Yolu	20	15	25	25	15	15	5	0	25	

Bozulma yüzdeleri belirlenirken, yolun toplam uzunluğu ile yolun ne kadar uzunlukta bir kesiminde söz konusu bozulmanın olduğuna dikkat edilmiştir. Yolda tespit edilen bozulma uzunluğu ile toplam yol

uzunluğunun oranı, bozulma yüzdesi olarak belirlenmiştir.

Bir yol üzerinde aynı konumda birden fazla bozulma tipi ile aynı anda karşılaşılabilmektedir. Örnek olarak bir yolun belirli kesiminde ondülasyon, kenar çatlakları, terleme, bölgesel çatlaklar gibi farklı bozulma tipleri bir arada görülebilmektedir. Tablo 1’de örnek olarak verilen yollardan 125 no.lu yolda, toplam uzunluğunun %35’inde kenar çatlağı, %25’inde timsah sırtı çatlak ve çeşitli oranlarda diğer bozulmaların olduğu anlaşılmaktadır. 125 no.lu yoldaki kenar çatlağı ve timsah sırtı çatlaklarının bir kısmı yolun aynı konumunda, bir kısmı ise yolun farklı konumlarında olabilmektedir. Bu nedenle bu iki bozulma tipinin toplam uzunluğuna göre oranının her iki bozulmanın aynı konumda meydana gelmesi durumunda en az %35, her iki bozulmanın farklı konumlarda meydana gelmesi durumunda ise en fazla %60 olduğu düşünülebilir.

İncelenen yollardaki üstyapılarda tespit edilen bozulmalar, bozulmaların şiddetine göre 5 seviyede derecelendirilmiştir. Derecelendirme sahada yapılan inceleme ve gözlemler neticesinde bozulma olmayan yerlerde 0 ve bozulmanın en fazla olduğu yerlerde 2 olarak belirlenmiştir. Bozulma şiddetinin alt ve üst sınırların arasında kalması durumunda ise, yerine göre 0,5 , 1 ve 1,5 değerleri verilmiştir.

Yapılan tüm değerlendirmeler, Tablo 2’de gösterildiği şekilde listelenmiştir. Aşağıda gösterilen Tablo 2’de, Tablo 1’de olduğu gibi verilerin tamamı yerine aynı üç örnek yol verisi gösterilmiştir.

Tablo 2

Bozulma Derecesine Göre Üstyapı Değerlendirme Formu

Yol No	Kaplama	Yol Adı	Bozulma Tipi ve Dereceleri									
			Timsah Sırtı Çatlak	Kenar Çatlakları	Enine Çatlaklar	Boyuna Çatlak	Bölgesel Çatlaklar	Tekerlek izi Oluşması	Ondülasyon	Lokal Oturmalar	Terleme	Segregasyon (Agrega Ayrışması)
125	Sathi	Dilek Kayışlar Bağlantısı	1,5	1,5	1,5	1,0	2,0	1,5	1,0	1,5	1,5	0,0
152	Sathi	Çamliyurt Yolu	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,0	1,0	1,5
153	Sathi	Halitpaşa-Çınaroba Yolu	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,5

Tablo 1 ve Tablo 2’de gösterilen değerlendirme formlarında yer alan bilgiler, CBS’ne daha önce bahsedilen bilgiler gibi gerek konumsal gerekse öznitelik bilgileri olarak kaydedilmektedir.

Her yolda her bir bozulma tipi için gözlemsel olarak belirlenen bozulma yüzdeleri ile bozulma tipinin yine gözlemsel olarak belirlenen derecesi çarpılarak,

bozulma puanı elde edilmiştir. Her yolda bozulma tipleri için ayrı ayrı bulunan bozulma puanlarının aritmetik ortalaması alınarak, yolun ortalama üstyapı puanı belirlenmiştir.

Tablo 1’de örneği verilen bozulma yüzdeleri ile Tablo 2’de örneği verilen bozulma dereceleri çarpılarak yola ait bozulma puanını elde edildiğinden, bozulma şiddetinin derecelendirmesinde 0,5 ‘in katları olacak şekilde 0-2 arasındaki sayılar tercih edilmiştir. Böylece bozulma yüzdesindeki değerin bozulma puanı içindeki katkısının daha yüksek olması hedeflenmiştir.

Yolların bozulma durumları, iki ayrı kategoride incelenmiştir. İlk olarak yollar, ortalama bozulma puanına göre değerlendirilmiştir. İkinci kategoride ise yollar, her bozulma tipi için ayrı ayrı olmak üzere belirlenen puan sınırının tek bir bozulma tipinde aşılması durumuna göre değerlendirilmiştir.

Birinci kategoride yani ortalama bozulma puanına göre yapılan bozulma durumunun değerlendirilmesinde, Sağlık ve Güngör tarafından hazırlanan Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi’ne (2008) benzer şekilde ve çalışma dahilinde elde edilen puanlamaların incelenmesiyle yazarlar tarafından çalışmaya özel olarak hazırlanan Tablo 3’ten faydalanılmıştır. Yolun ortalama üstyapı puanının 55’i geçmesi durumunda bozulma durumu “Çok Kötü”, 40-55 arası “Kötü”, 25-40 arası “Normal”, “15-25” arası “İyi” ve “0-15” arası “Çok İyi” olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3

Üstyapı Bozulma Durumunun Ortalama Puana Göre Değerlendirilmesi

Üstyapı Puanı	Bozulma Durumu
0-15	Çok İyi
15-25	İyi
25-40	Normal
40-55	Kötü
55-55+	Çok Kötü

Yolların bozulma durumlarının ikinci kategoride yani bozulma tiplerinden herhangi birindeki bozulma puanına göre değerlendirilmesinde, yine Sağlık ve Güngör tarafından hazırlanan Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi’ne (2008) benzer şekilde ve çalışma dahilinde elde edilen puanlamaların incelenmesiyle yazarlar tarafından çalışmaya özel olarak hazırlanan Tablo 4’ten faydalanılmıştır. Yolun bozulma tiplerinden herhangi birindeki bozulma puanının 75’i geçmesi durumunda yol “Çok Kötü”, “55-75” arasında “Kötü”, “0-55” arasında ise “İyi” olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4

Herhangi Bir Bozulma Puanına Göre Üstyapı Bozulma Durumunun Değerlendirilmesi

Bozulma Durumu	Herhangi Bir Bozulma Puanı
İyi	0-55
Kötü	55-75
Çok Kötü	75-75+

İki tablo kıyaslandığında, ortalama üstyapı puanına göre yolun “Çok Kötü” olarak nitelendirilmesi için puanın 55 ve üzeri olması yeterli iken, herhangi bir bozulma puanına göre yolun “Çok Kötü” olması için puanının 75 ve üzeri olması gerektiği görülmektedir.

Yolların bozulması ile ilgili her iki kategoride yapılan değerlendirmelerden daha kötü seviyede olan değerlendirme, sonuç olarak dikkate alınmıştır. Burada hedeflenen hem bozulma tipinin hem de bozulma şiddetinin ayrı ayrı en kötü durumunun seçilebilmesine olanak sağlamaktır.

Her yol için, her bozulma tipine göre hesaplanan bozulma puanları ile ortalama üstyapı bozulma puanı değerlendirmeleri, Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5

Bozulma Puanına Göre Üstyapı Değerlendirme Formu

Yol Adı	Bozulma Tipi ve Puanları													
	Timsah Sırtı Çatlak	Kenar Çatlakları	Enine Çatlaklar	Boyuna Çatlaklar	Bölgesel Çatlaklar	Tekerlek İzi Oluşması	Ondülasyon	Lokal Oturmanlar	Terleme	Segregasyon (Agrega Ayrışması)	Ortalama Üstyapı Puanı	Üstyapı Durumu (Ortalama Göre)	Üstyapı Durumu (Herhangi Bir Bozulma Puanına Göre)	
Dilek - Kayışlar Bağlantısı	37,50	52,50	45,00	45,00	25,00	80,00	52,50	35,00	45,00	52,50	0,00	42,50	Kötü	Çok Kötü
Çamlıyurt Yolu	52,50	45,00	75,00	45,00	52,50	25,00	30,00	20,00	10,00	45,00	40,00	40,00	Kötü	Kötü
Halitpaşa -Çınaroba Yolu	20,00	15,00	37,50	37,50	15,00	15,00	15,00	5,00	0,00	37,50	19,75	40,00	İyi	İyi

Tablo 5’te de, Tablo 1 ve Tablo 2’de olduğu gibi verilerin tamamı yerine tablolar arası devamlılığı sağlamak amacıyla aynı üç örnek yol verisi gösterilmiştir.

Tablo 5’te yer alan bozulmalara göre puanlar, ortalama üstyapı puanı, ortalama üstyapı puanına göre ve üstyapı durumuna göre değerlendirmeler, CBS’nde yer alan veri tabanı sorgulamaları ekranı ile elde edilmiştir.

Tablo 5’i açıklamak üzere bir örnek vermek gerekirse, herhangi bir yolda herhangi bir bozulma tipinin, mesela lokal oturmanın, tüm yol uzunluğunun %30 ‘unda

meydana gelmiş olduğunu ve bozulma derecesinin 2 olduğunu, yolda başka bir bozulma olmadığını (diğer tüm bozulma oranları %0) varsayalım. Bu durumda lokal oturmanın bozulma puanı $30 \times 2 = 60$, diğer dokuz bozulmanın puanı ise 0 olacaktır. Bu yolun, tüm bozulma puanlarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanan ortalama üstyapı puanı 6'dır. Ortalama üstyapı puanına göre üstyapı durumu incelendiğinde 6, 0-15 sınır değerleri arasında olduğundan yol "Çok İyi" olarak sınıflandırılacaktır. Her bir bozulma puanının ayrı ayrı değerlendirilmesiyle bozulma puanlarının en yükseği olan 60 dikkate alındığında, 55-75 sınır değerleri arasında kaldığından yol "Kötü" olarak sınıflandırılacaktır. Bu orandaki ve şiddetteki bir lokal oturmanın neredeyse yol üzerinde çukur oluşturacak seviyeye gelme durumu göz önüne alındığında, ortalama bozulma puanına göre yolun durumu için yapılan "Çok İyi" değerlendirilmesi dikkate alınmamalıdır. Bu nedenle herhangi bir bozulma puanına göre yapılan değerlendirme olan "Kötü", sonuç olarak alınacaktır.

Benzer şekilde bir yolda bozulma tiplerinin tamamının yer aldığını ve bozulma puanlarının 40 civarında olduğunu varsayalım. Herhangi bir bozulma puanına göre yapılacak değerlendirmede, tüm puanlar 40 civarı olduğundan yol "İyi" olarak değerlendirilecektir. Ancak bozulma puanlarının aritmetik ortalaması alındığında ve bu değer 40 üzeri olduğu görüldüğünde, yol "Kötü" olarak nitelendirilecektir. Bozulma tiplerine göre tek tek bakıldığında puanlar düşük görünse de, çok fazla çeşitte ve konumda bozulma görüldüğü için yol konforu ciddi şekilde bozulacağından yolun "İyi" olarak değerlendirmesi uygun olmayacaktır. Bu nedenle ortalama bozulma puanına göre yapılan değerlendirme olan "Kötü", sonuç olarak alınacaktır.

Bozulma durumlarını göstermek amacıyla CBS'ne eklenmiş olan fotoğraflar arasından Tablo 1, 2 ve 5'te örnek olarak gösterilen yollara ait olanlar, Şekil 4'te verilmektedir.



a) Bozulma Durumu : "İyi"



b) Bozulma Durumu : "Kötü"



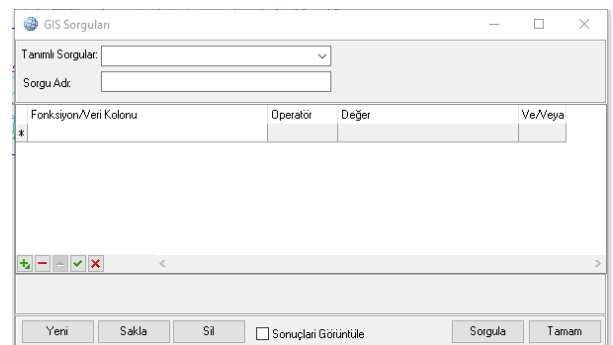
c) Bozulma Durumu : "Çok Kötü"

Şekil 4. Yolların Bozulma Durumları İçin Örnek Fotoğraflar

Yolun bozulma durumunun "İyi" olmasına Şekil 4.a'da yer alan Halitpaşa - Çınaroba Yolu fotoğrafı, "Kötü" olmasına Şekil 4.b 'de yer alan Çamlıyurt Yolu fotoğrafı ve "Çok Kötü" olmasına Şekil 4.c 'de yer alan Dilek - Kayışlar bağlantısındaki yolun fotoğrafı örnek olarak verilmektedir.

4. Bulgular

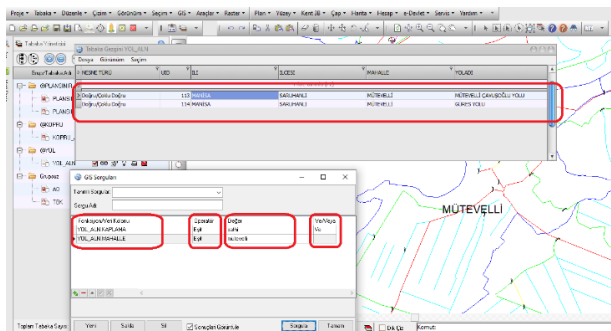
Oluşturulan CBS üzerindeki veri tabanı, kapsamlı sorgulamalar yapılabilmesine imkan tanımaktadır. Bu sorgulamalar, yol, köprü, menfez ve geçitlerle ilgili kaydedilen konumsal bilgiler (grafik veriler) ile öznelik bilgilerinin (grafik olmayan veriler) çeşitli varyasyonları ile gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 5'te CBS'nde kullanılan sorgu ekranı örneği verilmektedir.



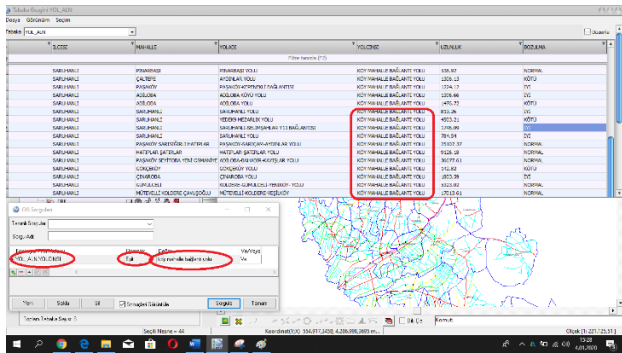
Şekil 5. CBS'nde Kullanılan Sorgu Ekranı

CBS yapısı gereği veri tabanı içerdiklerinden dolayı, sisteme kaydedilen tüm verilerle ilgili kapsamlı sorgulamalar yapabilmek mümkün olmaktadır. Veri tabanına bağlandıktan sonra veri tabanından alınan kolonların grafik veri ile ilişkilendirilmesi sağlanabilmektedir. Ayrıca tablolar arası bağlantı sağlanarak oluşturulan sorgular sayesinde kapsamlı ve detaylı listeler elde etmek mümkün olabilmektedir.

Yapılan sorgulamalara örnek olarak Saruhanlı ilçesi Mütevelli mahallesindeki sathi kaplama yollarının sorgulanması ile ilgili ekran görüntüsü Şekil 6'da, köy mahalle bağlantı yollarının sorgulanması ile ilgili ekran görüntüsü Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 6. CBS'nde Mütevelli Mahallesi Sathi Kaplama Yollarının Sorgulanması



Şekil 7. CBS'de Köy Mahalle Bağlantı Yollarının Sorgulanması

CBS üzerinde yapılan sorgular, tablo halinde Excel ortamına aktarılabilir ve böylece CBS'nin bulunmadığı bilgisayarlarda sorgu sonuçlarının incelenmesine ve farklı şekilde düzenlenebilmesine olanak sağlanmaktadır. Şekil 8'de CBS'nde yapılan sorguların tablo halinde Excel ortamına aktarılması ile ilgili ekran görüntüsü verilmektedir.

Şekil 8. CBS'nde Yapılan Sorguların Tablo Halinde Excel Ortamına Aktarılması

Oluşturulmuş olan CBS'nde örnek olarak, yolların sorumlu kurumlarına, kaplama tipine ve bozulma durumlarına göre sorgulamalar yapılarak Tablo 6-8 oluşturulmuştur. Saruhanlı ilçesinde bulunan yollar, sorumluluklarının bulunduğu kurumlara göre gruplama yapılarak Tablo 6 elde edilmiştir.

Tablo 6'dan görüleceği üzere, Saruhanlı içindeki tüm yolların %67'sinden Saruhanlı Belediyesi sorumludur.

Tablo 6

Sorumlu Kurumlara Göre Yol Dağılımları

Sorumluluk	Toplam Uzunluk (m)	%
Saruhanlı Belediyesi	957.309,38	67,0%
Manisa Büyükşehir Belediyesi	215.971,88	15,1%
KGM	61.384,26	4,3%
Otoyol İşletme A.Ş.	36.471,00	2,6%
Devlet Demir Yolları	24.629,50	1,7%
Devlet Su İşleri	132.367,35	9,3%
Toplam	1.428.133,37	100%

Tablo 6'da belirtilen yol sorumlularından Saruhanlı Belediyesi ve Manisa Büyükşehir Belediyesi için, sorumluluklarındaki yolların kaplama tiplerine göre dağılımları sorgulanarak sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7

Sorumluluklara Göre Kaplama Tiplerinin Dağılımı

Sorumluluk	Kaplama	Toplam Uzunluk (m)	%
Saruhanlı Belediyesi	Asfalt	0,00	0,0%
	Beton	0,00	0,0%
	Sathi	8.822,46	0,9%
	Stabilize	93.938,60	9,8%
	Toprak	854.548,32	89,3%
	Toplam	957.309,38	
Manisa Büyükşehir Belediyesi	Asfalt	59.014,24	27,3%
	Beton	18.151,63	8,4%
	Sathi	136.709,52	63,3%
	Stabilize	2.096,49	1,0%
	Toprak	0,00	0,0%
	Toplam	215.971,88	100,0%

Saruhanlı ilçesinde bulunan tüm asfalt ve sathi kaplama yollardaki bozulma durumları ile ilgili bilgiler sorgulanarak sonuçları Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8

Bozulma Durumunun Kaplama Tiplerine Göre Dağılımı

Kaplama	Bozulma	Toplam Uzunluk (m)	%
Asfalt	Çok İyi	59.829,89	50,3%
	İyi	0,00	0,0%
	Normal	59.014,24	49,7%
	Kötü	0,00	0,0%
	Çok Kötü	0,00	0,0%
	Toplam	118.844,13	100,0%
Sathi	Çok İyi	0,00	0,0%
	İyi	34.549,87	24,9%
	Normal	85.716,56	61,7%
	Kötü	13.441,00	9,7%
	Çok Kötü	5.261,24	3,8%
	Toplam	138.968,67	100,0%

Belediye tarafından yapılabilecek planlamalarla ilgili bir örnek vermek gerekirse, Belediye tarafından yıl içinde yapılması planlanan yol bakım ve onarımları ile ilgili çalışmada, öncelikli olarak sorumluluğu Saruhanlı Belediyesinde olan sathi kaplama yollar arasında bozulma durumu “Çok Kötü” olan yolların belirlenmesi istenebilir. Listenin alınması sırasında yer alacak bilgiler belirlenirken, yol isimleri, uzunluk ve genişlik bilgileriyle birlikte ve aynı zamanda konumlarını da içermesi tercih edilebilir. Böylece idare tarafından bakım onarım maliyet analizlerinin yapılması ve yolların hangileri ile ilgili bakım onarım yapılacağı belirlenmesi kararının verilmesine katkısı büyük olacaktır.

CBS’nde yapılacak sorgu sonucunda gelen liste içindeki

yollar arasında herhangi biri için daha fazla detay bilgiler istendiğinde, ilgili yolun seçilmesi yeterli olacaktır. Örneğin gelen listede yer alan Dilek – Kayışlar bağlantı yolu ile ilgili tüm detay bilgilere ulaşmak mümkün olabilecektir. Detaylı sorgulama sonucunda, Dilek – Kayışlar bağlantı yolunun sathi kaplama olduğu, ortalama yol genişliğinin 7 m ve uzunluğunun 5.261,24 m. olduğu görülecektir. Bu verilerden yola çıkarak yol kaplamasının yenilenmesi düşünüldüğünde kullanılacak olan malzeme miktarı bu veriler yardımıyla hesaplanabilecektir. Ayrıca yolla ilgili bilgiler arasında yer alan ve Şekil 4.c’de verilen bozulma durumu ile ilgili fotoğrafta incelenebilir.

Tablo 7’den Saruhanlı belediyesi sorumluluğunda bulunan yolların %89,3’ünün toprak yol olduğu ortaya çıkmaktadır. Bunun sebebi, ilçede geniş tarım arazilerinin bulunması nedeniyle çok sayıda tarla yollarına sahip olunmasıdır. Bu veriden yola çıkarak, Saruhanlı belediyesi sınırları içinde yapılabilecek bir çalışmada, toprak yolların öncelikle stabilize malzeme ile kaplanması ve ardından ise üst yapının sathi kaplama olarak yapılması planlanabilir. Bu hedef doğrultusunda CBS’nde yapılacak sorgulamalar ile yenilenmesi planlanan yollarla ilgili bilgiler ve konumları rahatça belirlenebilecektir.

Belediye sınırları dahilinde, yolların yeniden yapılması veya bakım onarımdan geçirilmesi istendiğinde, çalışmaların tamamının aynı anda yapılabilmesi gerek bütçe kısıtları gerekse yapım / bakım / onarım veya kontrol ekiplerinin yetersizliği nedeniyle mümkün olmayacaktır. Bu durumda bozulma durumlarına göre alınacak listeler, yolların konumlarına göre güncellenebilir. Böylece konum olarak birbirine yakın olan yolların bakım ve onarımları, birbirlerine yakın zamanlarda olacak şekilde planlanabilir. Böylece nakliye ile ilgili maliyetin düşürülmesi sağlanabilir.

Farklı kaplama tipine sahip olan yolların bakım onarım işlemleri ve dolayısı ile onarım ve yenileme maliyetleri de farklı olacağından, sorgulama yapılırken hangi değerleri içeren bilgilerin listelenmesi gerektiği, üzerinde düşünülmesi gereken bir konudur. Yollarla ilgili harcamalarda karar verici konumda olan Belediye yetkililerine, yollarla ilgili durum raporu sunulması sırasında raporu oluşturan yol verileri ve gruplandırmalarına çok dikkat edilmelidir. Aksi halde hedeflenen açıklıkta ve doğrulukta sonuçlara ulaşılmayabilir.

Yukarıda örnekleri verilen ve yapılabilecek farklı çok sayıda sorgulamalarla birlikte, Saruhanlı ilçesinde gerçekleştirilecek olan bakım ve onarım çalışmaları ile ilgili gerekli ön çalışma ve planlama yapılabilmesi ve stratejik kararlar verilebilmesi mümkün olacaktır.

5. Tartışma

Bu çalışma kapsamında Manisa ili Saruhanlı ilçesi

sınırları içinde mevcut olan yolların yapım, bakım ve onarımı ile ilgili kullanılmak üzere CBS oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada, Saruhanlı ilçesinde bulunan yol, köprü, menfez ve geçitlerle ilgili güncellenebilir bir veri tabanı düzenlenmiştir.

Çalışmada Saruhanlı'da bulunan yol, köprü, menfez ve geçitlerle ilgili bilgiler ile yolların bozulma durumları ile ilgili son durumları, Haziran – 2019 ve Aralık – 2019 tarihleri arasında sahada gerçekleştirilen çeşitli inceleme ve gözlemler sonucunda ile Saruhanlı belediyesinden alınan verilerden elde edilmiştir. Elde edilen tüm veriler CBS'ne girilmiştir. Yolların bozulma durumları ilgili bilgilerin analiz edilmesiyle ve yeni yapılması düşünülen herhangi bir yol inşaatı için ön çalışma yapılarak öncelik sırasının belirlenmesinin mümkün hale geldiği, CBS'nde yapılan sorgulamalarla ortaya konmuştur.

Gerek bütçe gerekse personel açısından imkanları kısıtlı olan küçük belediyelerde CBS 'nin kullanımı ile, yol yapımı veya bakım onarımla ilgili yatırımlara karar verme sırasında verilere hızlı ve doğru bir şekilde erişebilmek mümkün olabilecektir. Her yapılan işlemin zamanında CBS veri tabanlarına güncel olarak işlenmesi ve ihtiyaç olduğunda gerekli verilere erişilmesi, teknolojinin de yardımıyla az sayıda personelle sağlanabilecektir.

Kurulan sistemin hedeflendiği gibi çalışabilmesi, bahsedildiği üzere kayıtlı tüm verilerin güncel halde tutulmasına bağlıdır. Ancak imkanları kısıtlı olan belediyelerde CBS'ni kullanabilecek az sayıda personel yeterli olsa da, CBS'ni kullanabilecek mevcut teknik personel sayısının zaten az olması ve teknik personel üzerindeki mevcut iş yüklerinin halihazırda fazla olması, kurulan sistemin güvenilirliği ve sürdürülebilirliği açısından olumsuz bir durum yaratabilecektir. Bu durumdan kurtulabilmenin bir yolu olarak, CBS'nin küçük belediyeler yerine büyükşehir belediyelerinde kurularak il sınırları dahilindeki tüm belediyelere web üzerinden sorgulama imkanı sağlamak olarak düşünülebilir. Ancak bu durum çalışmaların merkezleşmesine yol açacağından, uygun değildir. Küçük belediyelerde CBS'ni kullanabilecek teknik personel yetersizliğinin önüne geçmenin bir yolu, bu konuda hizmet alımı yapmak olabilir. Bir diğer alternatifte, CBS'ne veri girişi ve güncellenmenin nispeten rutin bir iş olması nedeniyle, bu işlemin gerekirse önceden CBS kullanım eğitimi verilmiş teknik olmayan personel tarafından yapılması, CBS üzerinde sorgulama işlemlerinin ise teknik personel tarafından gerçekleştirilmesi düşünülebilir.

Verilerin güncel tutulabilmesi amacıyla CBS'ne veri girişlerinin gerektiğinde teknik olmayan personel ile bile yapılabilmesi ihtiyacı, kullanılacak CBS programlarının Türkçe arayüze sahip olmasını gerektirmektedir. Belediyelerde kullanılması düşünülen CBS'nin seçimi sırasında, programın kullanım kolaylığı,

tüm kullanıcılar tarafından anlaşılabilir olması, veri girişlerinin kolay ve rahat yapılabilmesi dikkat edilmesi gereken önemli kriterlerden olmaktadır.

6. Sonuçlar

CBS'ne kaydedilen verileri kullanarak, bölgedeki yol, köprü, menfez ve geçitlerle ilgili herhangi bir zamanda herhangi bir bilgiye, çeşitli sorgu kombinasyonları ile ulaşıldığı görülmüştür. Elde edilen verilerin farklı şekillerde gruplanmasıyla, dağılım analizleri yapılabilmektedir. Böylece bölgedeki yolların hangi kurumlara ait olduğu, kurumlara göre yol cinslerinin ne oranda dağılım gösterdiği, kurum sorumluluğundaki yolların bozulma durumları gibi sonuçların analizi ile müdahale önceliği belirlenebilecektir. Kurumlara göre yolların kaplama tiplerinin dağılımının analiz edilmesi ile o kurumun çalışma dönemi içinde hangi tip kaplama malzemesine ne miktarda ihtiyacının olduğu belirlenebilmesi mümkün olabilecektir. Ayrıca yolların kaplama tiplerine göre bozulma durumlarının analiz edilmesi ile, kullanılması gereken kaplama malzemesinin seçiminde etkili olabilecektir. Bozulma durumlarının yol cinslerine göre incelenmesi ile, ileride yapılması planlanan yolun cinsine göre üstyapı tasarımının ne olması gerektiği hakkında bir ön fikir oluşturulabilir.

Oluşturulan CBS'ndeki veriler, yollarla ilgili herhangi bir çalışma yapılması veya bilgilerinde bir değişiklik olması durumunda sürekli güncellenmelidirler. Böylece yolların yapım, bakım ve onarımının izlenmesi güncel olarak sağlanmış olacaktır. Planlanan bir proje ve yatırım öncesinde kurulan sistem kullanılarak, yapılacak ön çalışma için doğru veriler elde edilmiş olacak ve kurumların bakım onarımdaki kazançlarının yanında zamandan da tasarruf etmeleri sağlanacaktır.

Çalışmanın sağladığı faydalar göz önüne alındığında, daha fazla geliştirilmesi konusunda bazı düşünceler ortaya çıkmıştır.

Çalışma sırasında CBS'nde kullanılan veri tabanına girilen verilerle ilgili bilgiler "3.3 Çalışma" konu başlığı altında verilmişti. Çalışma sırasında yapılan incelemelerde, Saruhanlı Belediyesinin sorumluluk alanındaki yollarla ilgili bakım ve onarım çalışmaları yapılacağı zaman bir yolun tamamının ele alındığı görüldüğünden, yollardaki bozulmalarla ilgili girişler, yolun tamamına ait olarak girilmişti. Çalışmanın geliştirilmesi aşamasında, yollarla ilgili girilen verilere ilave olarak yolların başlangıç noktalarının belirlenerek CBS'ne girilmesi sağlanabilir. Böylece yol üzerindeki herhangi bir noktanın kilometre değerini CBS'nden elde edebilmek mümkün olacaktır. CBS'nde şu an için isteğe bağlı olarak açıklayıcı bilgi şeklinde girilebilen bozulma olan noktalarla ilgili kilometre değerleri, yolların başlangıç noktalarının tanımlanması ile veri olarak tanımlanabilecektir. Böylece yol üzerinde bozulmanın

başladığı ve sona erdiği noktaların kilometre değerlerinin girilmesi ile bozulmaların olduğu noktaların yerinin tam olarak tespit edilmesi ve alansal büyüklüklerinin tam olarak belirlenmesi mümkün olacaktır. Bu sayede, belediye yetkililerinin bozulmanın giderilmesi için gerekli onarımın tam maliyetini hesaplamaları mümkün olabilecektir.

Çalışmanın sunulan halinde yol ile ilgili bozulma bilgileri, yolu gözlemleyen teknik personelin görüşüne göre belirlenmektedir. Bu da verilerin subjektif olarak oluşturulmasına yol açmaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi (IRI) (Sayers, M., Gillespie, T. ve Queiroz, C., 1986) gibi objektif kriterlerle üstyapıyı yorumlayan indekslerin kullanımının CBS'ne eklenmesi ilerleyen zamanlarda çalışma geliştirilmesi için uygulanacaktır.

CBS'nde yapılan sorgulamalarla, mevcut durumun analiz edilmesi, yapılacak olan veri güncellemeleri ile yollardaki bozulma durumları ortaya konmaktadır. Ancak şu an için, bakım ve onarım konusunda hangi yöntemin ne şekilde kullanılacağı ile ilgili karar verme aşaması ve düşünülen bakım onarımın ne kadar maliyete sahip olacağı CBS dışında belirlenmektedir. İlerleyen zamanlarda mevcut yollardaki bozulmaların durumları ve konuları dikkate alınıp karar verme teknikleri kullanılarak öncelik listesi oluşturulabilir. Öncelik listesinin belirlenmesi sırasında, bakım onarımıyla ilgili temel birim fiyatların girilmesi ile onarım maliyetinin de karar verme aşamasında kullanılması sağlanabilir. Böylece imkanları kısıtlı olan küçük belediyelerde sınırlı bütçenin optimum fayda ile kullanımı sırasında karar verici olarak ta CBS kullanılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada, Yazar1, bilimsel yayın araştırması, verilerin elde edilmesi, saha çalışması, grafiklerin hazırlanması, verilerin yorumlanması, makalenin oluşturulması; Yazar2, bilimsel yayın araştırması, verilerin yorumlanması, makalenin kontrolünün yapılması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Abulizi, N., Kawamura, A., Tomiyama, K. ve Fujita, S. (2016). Measuring And Evaluating of Road Roughness Conditions With A Compact Road Profiler And Arcgis. *Journal of Traffic and Transportation*

Engineering (English Edition), 3 (5): 398-411, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtte.2016.09.004>.

Almuhanna, R.R.A., Ewadh, H.A. ve Alasadi, S.J.M. (2018). Using PAVER 6.5.7 and GIS Program For Pavement Maintenance Management For Selected Roads in Kerbala City. *Case Studies in Construct. Mat.*, 8, 323-332, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2018.01.005>.

Bağdatlı, M.E.C. ve Yıldırım, M.Ş. (2017). Karayolu Üstyapılarındaki Bozulmaların Bakım Maliyetlerine Etkisi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3 Cilt 6(1) 102-111, <http://dx.doi.org/10.17100/nevbittek.304473>.

Bazlamit, S.M., Ahmad, H.S. ve Al-Suleiman (Obaidat), T.I. (2017). Pavement Maintenance Applications using Geographic Information Systems. *Procedia Engineering*, 182, 83 – 90, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.123>.

Fırat, M., Dursun, Ö.F., İnce, K., Talu, M.F. ve Aydoğdu, M. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemlerin Kentsel Alt Yapı Sistemlerinde Kullanılması. *ADYU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2, 24-33.

Hadidi, T., Naghawi, H., Al Kilany, O. ve Al Sharief, A. (2016). Utilizing Geographic Information System as a Tool for Pavement Management System. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, 4(4), 96-100.

Heywood, I., Cornelius, S. ve Carver, S. (1998). An Introduction to Geographical Information Systems. *Longman*, .11-12.

Jidol, M., Ejiri, R., Otazawa, T. ve Kobayashi, K. (2005). Road Pavement Management Accounting System Application. *Journal of Applied Computing in Civil Engineering*, 14., 259-268.

Karayolları Genel Müdürlüğü. (2019). Erişim adresi: <http://www.kgm.gov.tr>.

Karayolları Genel Müdürlüğü. (2020). 2019 Yılı Devlet ve İl Yolları Bakım-İşletme Maliyetleri, Erişim adresi: <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/YapimBakimIsletmeMaliyet/2019BakimMaliyetKitabi.pdf>

Kobayashi, K., Ejiri, R. ve Do, M. (2008). Pavement Management Accounting System. *Journal of Infrastructure Systems*, 14:159-168, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2008\)14:2\(159\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2008)14:2(159)).

Murat, Y. Ş. ve Saldıroğlu, S. (2013). Köy Yollarının Takibi, Bakım ve Onarımı İçin Coğrafi Bilgi Sistemi (Cbs) Esaslı Yönetim Modeli : Denizli Örneği. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19, Sayı 6, 240-248, <http://dx.doi.org/10.5505/pajes.2013.33042>.

- Nautiyal, A. ve Sharma, S. (2021). Condition Based Maintenance Planning of Low Volume Rural Roads Using GIS. *Journal of Cleaner Production*, 312, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127649>.
- Nodrat, F. ve Kang, D. (2018). Prioritizing Road Maintenance Activities Using GIS Platform and Vb. net. (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9, No. 2, 34-41.
- Pantha, B.R., Yatabe, R. ve Bhandary, N.P. (2010). GIS-Based Highway Maintenance Prioritization Model: An Integrated Approach For Highway Maintenance In Nepal Mountains. *Journal of Transport Geography*, 18, 426-433, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2009.06.016>.
- Ribeiro, A.M.G., Capitão, S.D. ve Correia, R.G. (2019). Deciding On Maintenance of Small Municipal Roads Based On GIS Simplified Procedures. *Case Studies on Transport Policy*, 7, 330-337, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cstp.2019.03.011>.
- Sağlık, A. ve Güngör, G. (2008). Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. *Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü Ankara*, 122
- Saruhanlı Belediyesi. (2019). <http://www.saruhanli.bel.tr>.
- Sayers, M., Gillespie, T. ve Queiroz, C. (1986). The International Road Roughness Experiment, *World Bank*, Washington DC, Technical Paper No. 45.
- Silva, J. B., Deus, R. F. ve Tenedório, J.A. (2012). Paying As The Urban Areas Grow – Implementing And Managing Urban Development Charges Using A GIS Application. *International Journal of Geographical Information Science*, 26 (Issue Number 9), 1689-1705, <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2011.645478>
- Tatar, C.Ö., Yılmaz, E., Lafcı, B., Küçükpehlivan, T., Aksoy, T., Ağaçsapan, B. ve Sarı, S. (2021). Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Türkiye'deki Tarihsel Gelişimi ve Mevcut Durumu. *Gsi Journals Serie C: Advancements In Information Sciences And Technologies (Aist)*, 4, Issue: 1, p. 33-61, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127649>.
- Terzi, S. ve Ahmed, M.H. (2020). Kırsal Yolların Üstyapı Performans Analizinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılabilirliği: Isparta Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(3), 904-911, <http://dx.doi.org/10.21923/jesd.572137>.
- Torres-Machi, C., Osorio, A., Godoy, P., Chamorro, A., Mourgues, C. ve Videla, C. (2018). Sustainable Management Framework for Transportation Assets: Application to Urban Pavement Networks. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(10):4095-4106, <http://dx.doi.org/10.1007/s12205-018-1314-x>.
- Töreyan, G., Özdemir, İ. ve Kurt T. (2013). ArcGIS 10 Desktop Uygulama Dökümanı. *İşlem Şirketler Grubu, Ankara, Türkiye*, 208.
- Yaşa, M. (2020). *Yolların Yapım, Bakım Ve Onarımı İle İlgili Bilgi Sistemi Oluşturma: Manisa – Saruhanlı Örneği* (Yüksek Lisans Tezi), Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Manisa, 100.
- Zagvozd, M., Dimter, S., Moser, V. ve Barišić, I. (2019). Application Of GIS Technology In Pavement Management Systems. *Grđevinar*, 71 4, 297-304, <http://dx.doi.org/10.14256/JCE.1980.2017>.
- Zhang, Z., Smith, S.G. ve Hudson, W.R. (2001). Geographic Information System Implementation Plan for Pavement Management Information System. *Transportation Research*, Record 1769, Paper No. 01-3498.

ANALYSIS OF THE FEATURES FOR AUTOMATIC CLASSIFICATION OF ACADEMIC PERFORMANCE

Hakan Alp EREN ¹, Efnan SORA GUNAL ^{2*}

¹ Dept. of Software Engineering, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Türkiye

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-6105-158X>

² Dept. of Computer Engineering, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Türkiye

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-6236-174X>

Keywords

Academic performance
Data mining
Machine learning
Classification
Feature selection

Abstract

This paper analyzes the contributions of features widely used in the automatic classification of students' academic performance. In this classification problem, the relationship between various features and classifiers is analyzed using an exhaustive feature selection strategy. In this way, the optimal subset of features providing the highest classification performance is obtained. For this purpose, an academic performance dataset consisting of 15 distinct features and 480 samples is used. The features mainly belong to four different categories, including demographic, academic background, parent participation, and behavioral. The samples are from three different classes corresponding to the low, middle, and high levels of students' success. For evaluations, 10 different classification algorithms are employed. Extensive experimental analysis reveals that the accuracy of the classification of students' academic performance can be improved up to 79.40% using only 8 features rather than all.

AKADEMİK PERFORMANSIN OTOMATİK SINIFLANDIRILMASI İÇİN ÖZNETELİKLERİN ANALİZİ

Anahtar Kelimeler

Akademik performans
Veri madenciliği
Makine öğrenmesi
Sınıflandırma
Öznitelik Seçimi

Öz

Bu makale, öğrencilerin akademik performansının otomatik olarak sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılan özelliklerin katkılarını analiz etmektedir. Bu sınıflandırma probleminde, çeşitli öznitelikler ve sınıflandırıcılar arasındaki ilişki, kapsamlı bir öznitelik seçim stratejisi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu şekilde, en yüksek sınıflandırma performansını sağlayan optimal öznitelik alt kümesi elde edilmiştir. Bu amaçla 15 farklı öznitelik ve 480 örnekten oluşan bir akademik performans veri seti kullanılmıştır. Öznitelikler demografik, akademik geçmiş, ebeveyn katılımı ve davranışsal olmak üzere dört farklı kategoriye aittir. Örnekler, öğrenci başarısının düşük, orta ve yüksek seviyelerine karşılık gelen üç farklı sınıftandır. Değerlendirmeler için 10 farklı sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Kapsamlı deneysel analizler, öğrencilerin akademik performansını sınıflandırma doğruluğunun, özniteliklerin tamamı yerine yalnızca 8 tanesi kullanılarak, %79.40'a kadar artırılabilirliğini ortaya koymaktadır.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 28.12.2021

Kabul Tarihi

: 05.04.2022

Research Article

Submission Date

: 28.12.2021

Accepted Date

: 05.04.2022

1. Introduction

Data mining is simply the extraction of meaningful information by processing data collected in various

ways and from various resources (Han et al., 2011; Aggarwal, 2015). A descriptive or predictive model can be created from the data. While the descriptive models are used to find relationships, trends, clusters, and

* Corresponding Author; e-mail : esora@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/>).

anomalies in the data, the predictive models estimate the value of a variable based on the values of other variables. The variable to be estimated is called the target (dependent) variable and the variables used for the estimation are called explanatory (independent) variables. The estimation can be made in the form of classification or regression. Assessment of the academic performance of students using classification estimators, or simply classifiers, is just one of the use cases of these estimations among many other fields. With the help of various features and classification models, one can predict the academic performance of students.

In the literature, there are several works on the classification of academic performance. As an example, Huang and Fang (2013) developed a set of mathematical models and then identified the most appropriate models for predicting student academic performance. Four types of mathematical modeling techniques (multiple linear regression, multilayer perception network, radial basis function network, and support vector machine) and six combinations of predictor variables were used to develop a total of 24 predictive mathematical models based on the dataset collected from 323 undergraduates in four semesters. The outputs of the models were the students' scores on the final exam of the engineering dynamics course. The inputs of the models were the student's cumulative GPA, grades earned in four pre-requisite courses (statistics, calculus I, calculus II, and physics), and the scores on three mid-term exams of the engineering dynamics course. Amrieh et al. (2015) developed a model that predicts students' academic achievement by using the attributes that were divided into three categories, namely demographic, academic background, and behavioral. The demographic features consist of nationality, gender, place of birth, and the parent responsible for the student. The academic background features include school level, grade, section, semester, topic, and teacher ID. The behavioral features consist of raised hands, visited resources, joining discussion groups, and viewing announcements. The students were divided into three levels as low, medium, and high based on their grades. Decision tree, artificial neural network, and naive Bayes were used as the classification algorithms. In another work (Amrieh et al., 2016), features were divided into four categories: demographic features, academic background features, parent participation in the learning process, and behavioral features. Demographic features were nationality, gender, place of birth, and the parent responsible for the student. Academic background features included school level, grade, section, semester, topic, and the number of absences. Whether the parent answered the survey about school and whether they were satisfied with the school were the features in the parent participation category. Behavioral features included participation in discussion groups, access to course resources, number of raised hands in class, and viewing announcements. The dataset contains 15

features and 500 students. In this study, filter-method were applied for feature selection using an information gain-based algorithm. The models were created using various classifiers and ensemble methods on two datasets with and without behavioral features. In another work, the performances of several feature selection algorithms were analyzed on the student academic performance dataset (Zaffar et al., 2017). The best combinations of feature selection and classification algorithms were obtained. Rahman et. al used the classification algorithms, including naive Bayes, artificial neural network, decision tree, and *k*-nearest neighbor as well as ensemble filtering methods to classify the academic performance of students (Rahman and Islam, 2017). Hussain et al. (2018) developed a model for classifying the academic performance of university students. The attributes included gender, social class, family size, marital status, income, and attendance. Four classifiers were used in this work. These classifiers and their accuracies are as follows: random forest (99%), PART (74.33%), J48 (73%), and BayesNet (65.33%). Finally, a new model and features for predicting the academic performance of students were introduced in (Sana et al., 2019). Ha et al. (2020) investigated the machine learning techniques to predict the grade point average of students based on personal characteristics, university entry scores, gap year, and their academic performance of the first and second year. Zhang et. al (2021) provided a systematic review of the student performance prediction studies from the perspective of machine learning and data mining considering five stages, i.e., data collection, problem formalization, model, prediction, and application.

In all the abovementioned studies, the contributions of the features to the performance of the classification of academic performance were analyzed by applying either suboptimal feature selection algorithms or no feature selection algorithm. On the other hand, in our work, the relationship between various features and classifiers is analyzed for the same classification task using an optimal feature selection algorithm rather than a suboptimal one. For this purpose, 10 different classifiers were used on the Students' Academic Performance dataset (Amrieh et al., 2016). The classifiers include naive Bayes (Gaussian), naive Bayes (Bernoulli), *k*-nearest neighbor, support vector machine (kernel: radial basis function), support vector machine (kernel: polynomial), logistic regression, decision tree (criterion: entropy), decision tree (criterion: Gini), random forest (criterion: entropy), and random forest (criterion: Gini) (Bishop, 2006; Theodoridis and Koutroumbas, 2009). The dataset consists of 15 features and 480 samples in total. The best feature subsets offering the highest classification accuracy for each classifier were obtained using the exhaustive search (Gunal et al., 2009), which is an optimal feature selection algorithm. In this way, classification accuracies of up to 79.40% were achieved using as few as 8 features out of

15.

The rest of the paper is organized as follows: The materials and methods are described in Section 2. The experimental results and discussion are presented in Section 3. Finally, the conclusions and future directions are given in Section 4.

2. Materials and Methods

As mentioned earlier, various classification algorithms were used to classify the Students' Academic Performance dataset. The contributions of the features to the performance of each classifier were then analyzed using the exhaustive feature selection algorithm. In the following subsections, first, the dataset is introduced. Then, the preprocessing steps, classifiers, and success metrics are described. Finally, the optimal feature selection algorithm is explained. In this work, research and publication ethics were followed.

2.1. Dataset

The Students' Academic Performance dataset contains 15 features and 480 instances. The students were divided into three classes namely Low (L), Middle (M), and High (H) according to their success levels. Students with grades 0-69 are in L, 70-89 are in M and 90-100 are in H class. 30% of the students are in H, 44% are in M and 26% are in L class. The features were divided into four categories including demographic, academic background, parent participation in the learning process, and behavioral.

The student's nationality, place of birth, gender, and parent (father or mother) features are in the demographic feature category. The nationalities of the students are 37% Kuwait, 36% Jordan, 6% Palestine, 5% Iraq, and 16% others. 64% of the students are male and 36% are female. Their birthplaces are 37% Kuwait, 36% Jordan, 6% Palestine, 5% Iraq, and 16% other countries. The distributions of the demographic features are illustrated in Figure 1.

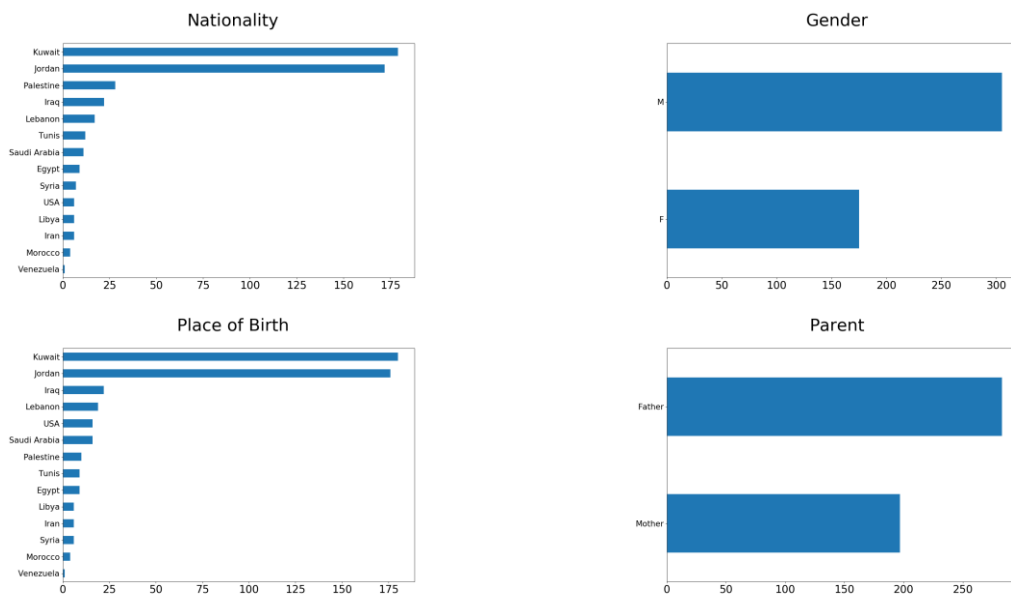


Figure 1. Distribution of the demographic features.

In the academic background category, the features are stage (lower, middle, or high school), grade (from 2 to 12), section (A, B, C), semester, topic (English, math, biology, etc.), and the number of absences (above or under 7 days). 52% of the students attend secondary school, 41% attend primary school and 7% attend high school. 31% are 2nd grade, 24% are 8th grade, 21% are 7th grade, 10% are 4th grade and 14% are other grades. Section distributions are 59% A, 35% B, and 6% C. 51% of the data were collected in the first semester and 49% in the second semester. The distribution of the topics is 20% IT, 14% French, 12% Arabic, 11% science, and 44% others. 60% of students are absent under 7 days and

40% are over 7 days. The distributions of the academic background features are illustrated in Figure 2.

Whether the parent participated in the survey about the school and parent's satisfaction with the school is in the parent's participation category. More than half of the parents participated in the survey. While 61% of the parents are satisfied with the school, 39% are not. The distributions in this feature category are illustrated in Figure 3.

The category of behavioral features includes participation in discussion groups, access to lecture resources, raising hand in class, and viewing

announcements. The features in this category consist of numerical values.

2.2. Pre-Processing

There are both categorical and numeric values in the dataset. While categorical features can be nominal or ordinal, numeric features are either interval or ratio (Han et al., 2011; Aggarwal, 2015). The nominal scale is a labeling scale, where features are simply labeled, with no specific order. On the other hand, the ordinal scale has all its variables in a specific order, beyond just labeling them. Interval features can be categorized and ranked, and evenly spaced. Ratio feature can be categorized, ranked, evenly spaced, and has a natural zero. Hence, in the dataset, label encoding should be used for ordinal values like low, middle, and high. However, for nominal values like section (A, B, C), one-hot encoding should be used. Nationality, place of birth, and topic features are not included in this work since the dimension would be very high for exhaustive search after the one-hot encoding. The section feature was one-hot encoded as shown in Table 1. Other categorical features were expressed using 0 and 1 with one variable each since the values are binary (parent: mother/father, gender: male/female, and so on). Finally, a 15-dimensional feature vector with numeric values was obtained. Also, a standard scaler (zero mean and unit variance) was used to normalize the data.

2.3. Classifiers and Success Metrics

In this study, decision tree (DT), naive Bayes (NB), *k*-nearest neighbor (kNN), logistic regression (LR), random forest (RF), support vector machine (SVM) classifiers were used. Accuracy, precision, recall, and F1-score were the success metrics used to select the best feature subsets. First, the subset with the highest accuracy was selected. If the accuracies of any two subsets were equal, then their F1-scores were compared. The confusion matrix including true positive, true negative, false positive, and false negative values is given in Table 2. Accuracy, precision, recall, and F1-score are calculated using the formulations in (1-4).

2.4. Feature Selection

Feature selection methods are mainly divided into two categories: filters and wrappers (Guyon and Elisseeff, 2003; Gunal and Edizkan, 2008). While most of the feature selection algorithms offer suboptimal results due to the considerations on processing time, the exhaustive search strategy can provide the optimal feature subset, but with a burden of significantly higher processing time. Therefore, researchers may not prefer the exhaustive search for large numbers of features. As mentioned earlier, the exhaustive feature selection algorithm providing the optimal feature subset was utilized in our work due to the relatively small size of the initial feature set. In general, all of 2^{n-1} feature combinations are tested in an exhaustive search for *n* features. Since there were 15 distinct features in our work, 32,767 feature combinations were compared to each other for every single classification algorithm.

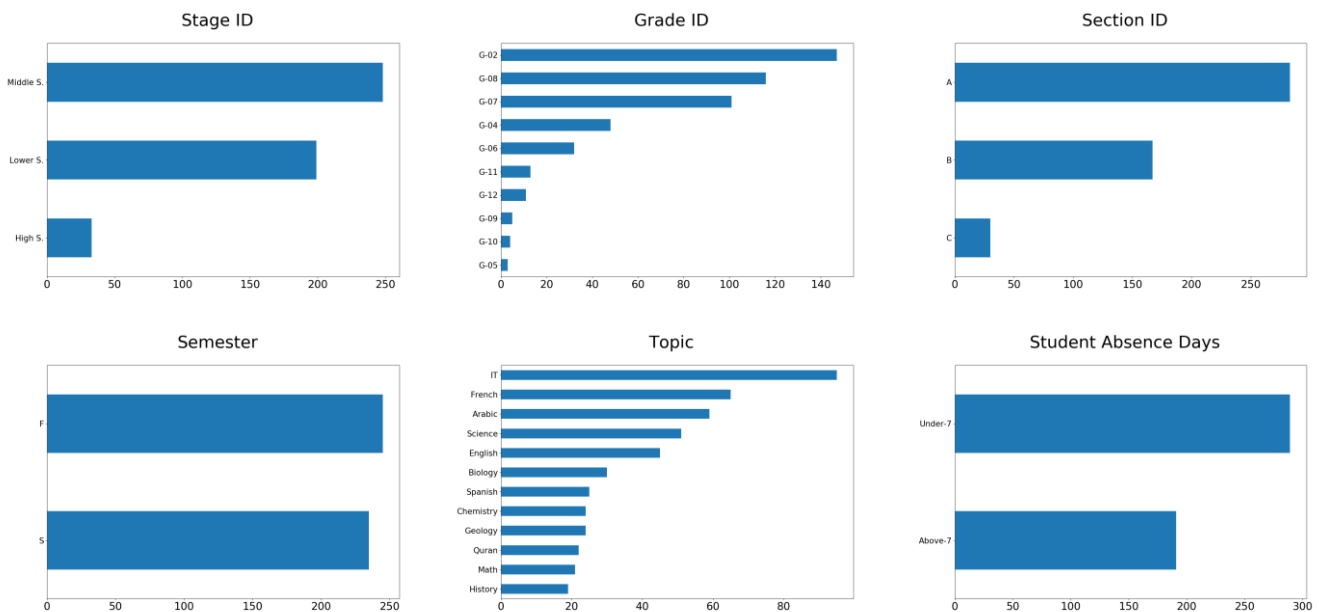


Figure 2. Distribution of the academic background features



Figure 3. Distribution of the parent participation features

Table 1

One-hot encoded section feature

Section	Section A	Section B	Section C
A	1	0	0
B	0	1	0
C	0	0	1

Table 2

The layout of a confusion matrix

		Predicted	
		Positive	Negative
Actual	Positive	True Positive (TP)	False Negative (FN)
	Negative	False Positive (FP)	True Negative (TN)

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \tag{1}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{2}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \tag{3}$$

$$F1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \tag{4}$$

3. Experimental Results and Discussions

During the experimental work, 1/3 of the instances were used for testing. The remaining 2/3 were used to train the models with 10-fold stratified cross-validation.

The best feature subsets were obtained for different numbers of features ranging from 1 to 15. The test dataset was used to calculate the classification accuracies of the best feature combinations found by cross-validation. The best feature subset was determined by comparing the accuracies, or F1-scores if the accuracies were the same. The combination of fewer features was selected if both the accuracy and F1-score were equal.

After executing the exhaustive feature selection algorithm, the optimal feature subsets providing the highest classification accuracies for each classifier were

obtained. These feature subsets are listed in Table 3, where the selected features are indicated with “x”. It is seen from the table that parent, parent answering survey, and the number of absences are important features for all of the classifiers.

The classification accuracies of each classifier and class-specific precision, recall, F1-score values for the best feature subsets in each case are listed in Table 4, where the highest values are indicated in bold. As shown in the table, the F1-score of class M is lower than those of the other two classes. The highest precision, recall, F1-score, and accuracy were all achieved by the random forest (criterion: Gini) classifier, whereas the lowest ones were obtained with the support vector machine (kernel: RBF).

The classification accuracies with and without feature selection are comparatively given in Table 5, where the highest values are indicated in bold. Also, the results were compared with the related work (Amrieh et al., 2016) using the same dataset. It is clear from the table that naive Bayes and random forest classifiers with the corresponding optimal feature subsets achieved superior results than those of the related work. In our work, the most successful classifier was found to be the random forest (criterion: Gini) with an accuracy of 79.40%. Moreover, only 8 of the initial feature set was selected with this classification algorithm. These 8 features were found to be gender, parent, raised hands, visited resources, announcements view, parent answering survey, the number of absences, and section B.

Also, the changes in the classification accuracy for the best feature subsets consisting of different numbers of features ranging from 1 to 15 are illustrated in Figure 4. While the naive Bayes (Gaussian) classifier provided the best performance in most of the feature dimensions, the highest performance (an accuracy of 79.40% with only 8 features selected) was attained with the random forest classifier (criterion: Gini). In the meantime, the lowest performances for each classifier were achieved when only a single feature was selected. In that case, the accuracy dropped even under 50% for some of the classifiers.

Table 3

The best feature subsets for each classifier, where the selected features are indicated with “x”.

Feature Category	No	Feature	GNB	BNB	kNN	SVM (RBF)	SVM (Poly)	LR	DT (Ent.)	DT (Gini)	RF (Ent.)	RF (Gini)
Demographic	1	Gender	x	x	x	x	x		x	x	x	x
	2	Parent	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	3	Stage	x				x	x	x	x	x	
Academic Background	4	Grade						x	x	x	x	
	5	Section A	x					x	x	x		
	6	Section B	x	x	x		x	x	x	x	x	x
	7	Section C			x		x	x	x	x		
	8	Semester	x						x	x		
Parent Participation	9	The number of absences	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	10	Parent answering survey	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Behavioral	11	Parent school satisfaction	x				x	x	x	x	x	
	12	Discussion	x					x	x		x	
	13	Visited resources	x	x				x	x	x	x	x
	14	Raised hands						x	x	x	x	x
	15	Announcements view	x					x	x	x	x	x

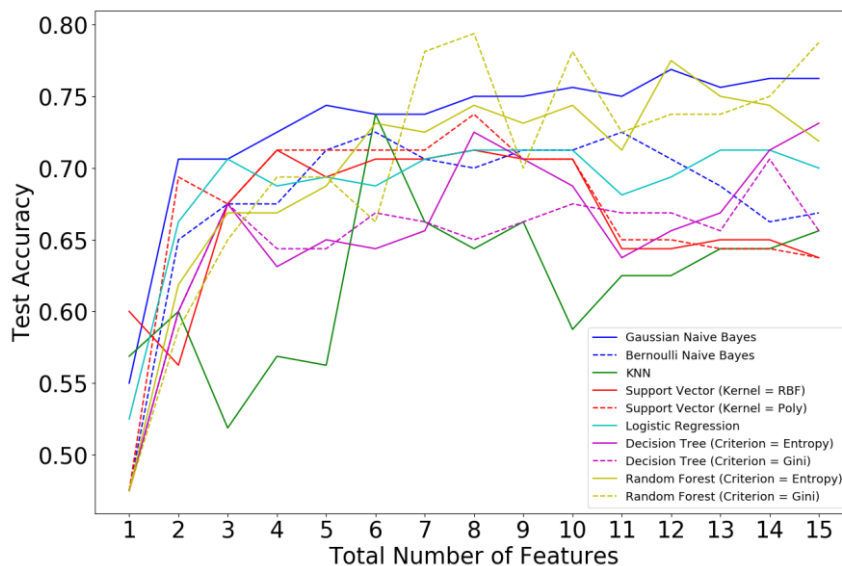


Figure 4. The accuracies of each classifier for the best feature subsets with different numbers of features

4. Conclusions

In this work, the contributions of features for the automatic classification of students’ academic performance were analyzed extensively. With the help of an exhaustive search strategy, the optimal subset of features providing the highest classification performance is obtained for 10 different classification algorithms. Extensive experimental analysis on an academic performance dataset revealed that the accuracy of the classification of students’ academic performance can increase up to 79.40% using only 8 features rather than all. These features were found to be gender, parent, raised hands, visited resources, announcements view, parent answering survey, the number of absences, and section B. Also, a classification

accuracy of around 60% was achieved even with a single feature. As future work, analyses of different features and classification algorithms can be carried out.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

Author Contributions

H. A. Eren contributed to the implementation of the research, to the analysis of the results, and to the writing of the manuscript. E. Sora Gunal contributed to the design of the research, to the analysis of the results, and to the writing and reviewing of the manuscript.

Table 4

Accuracy, precision, recall, and F1-scores of the classifiers

Classifier	Class	Precision	Recall	F1-score	Accuracy
Naive Bayes (Gaussian)	L	0.76	0.91	0.83	0.77
	M	0.76	0.65	0.70	
	H	0.78	0.82	0.80	
	Weighted Avg.	0.77	0.77	0.76	
Naive Bayes (Bernoulli)	L	0.75	0.86	0.80	0.73
	M	0.65	0.71	0.68	
	H	0.82	0.67	0.73	
	Weighted Avg.	0.73	0.72	0.73	
kNN	L	0.72	0.83	0.77	0.74
	M	0.68	0.68	0.68	
	H	0.82	0.75	0.78	
	Weighted Avg.	0.74	0.74	0.74	
SVM (kernel: RBF)	L	0.74	0.80	0.77	0.71
	M	0.63	0.71	0.67	
	H	0.82	0.67	0.73	
	Weighted Avg.	0.72	0.71	0.71	
SVM (kernel: Poly)	L	0.72	0.89	0.79	0.74
	M	0.68	0.68	0.68	
	H	0.83	0.72	0.77	
	Weighted Avg.	0.74	0.74	0.74	
Logistic Regression	L	0.79	0.89	0.84	0.71
	M	0.64	0.68	0.66	
	H	0.75	0.65	0.70	
	Weighted Avg.	0.71	0.71	0.71	
Decision Tree (criterion: Entropy)	L	0.72	0.83	0.77	0.73
	M	0.69	0.63	0.66	
	H	0.77	0.78	0.78	
	Weighted Avg.	0.73	0.73	0.73	
Decision Tree (criterion: Gini)	L	0.57	0.77	0.66	0.71
	M	0.70	0.57	0.63	
	H	0.82	0.82	0.82	
	Weighted Avg.	0.72	0.71	0.71	
Random Forest (criterion: Entropy)	L	0.77	0.86	0.81	0.78
	M	0.71	0.77	0.74	
	H	0.86	0.73	0.79	
	Weighted Avg.	0.78	0.78	0.78	
Random Forest (criterion: Gini)	L	0.79	0.86	0.82	0.79
	M	0.74	0.78	0.76	
	H	0.87	0.77	0.81	
	Weighted Avg.	0.80	0.79	0.79	

Table 5

Comparison of the classification accuracies with the related work

Classifier	Without Feature Selection	With Feature Selection	Related Work (Amrieh et al., 2016)
Naive Bayes (Gaussian)	0.762	0.769 (12 features)	0.670
Naive Bayes (Bernoulli)	0.669	0.725 (6 features)	
k-Nearest Neighbor	0.656	0.738 (6 features)	-
Support Vector Machine (kernel: RBF)	0.638	0.712 (4 features)	-
Support Vector Machine (kernel: Poly)	0.638	0.738 (8 features)	-
Logistic Regression	0.700	0.712 (13 features)	-
Decision Tree (criterion: Entropy)	0.731	0.731 (15 features)	0.750
Decision Tree (criterion: Gini)	0.656	0.706 (14 features)	
Random Forest (criterion: Entropy)	0.719	0.775 (12 features)	0.750
Random Forest (criterion: Gini)	0.788	0.794 (8 features)	

References

- Aggarwal, C. C. (2015). *Data mining: the textbook*. Springer.
- Amrieh, E.A., Hamtini, T.M., & Aljarah, I. (2015). Preprocessing and analyzing educational data set using X-API for improving student's performance. IEEE Jordan Conf. on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT), 1-5. doi: <https://doi.org/10.1109/AEECT.2015.7360581>
- Amrieh, E.A., Hamtini, T.M., & Aljarah, I. (2016). Mining educational data to predict student's academic performance using ensemble methods. International Journal of Database Theory and Application, 9(8), 119-136. doi: <http://dx.doi.org/10.14257/ijdta.2016.9.8.13>
- Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.
- Gunal, S., & Edizkan, R. (2008). Subspace based feature selection for pattern recognition. Information Sciences, 178(19), 3716-3726. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.06.001>
- Gunal, S., Gerek, O. N., Ece, D. G., & Edizkan, R. (2009). The search for optimal feature set in power quality event classification. Expert Systems with Applications, 36(7), 10266-10273. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.01.051>
- Guyon, I., & Elisseeff, A. (2003). An introduction to variable and feature selection. Journal of Machine Learning Research, 3, 1157-1182.
- Ha, D. T., Loan, P. T. T., Giap, C. N., & Huong, N. T. L. (2020). An empirical study for student academic performance prediction using machine learning techniques. International Journal of Computer Science and Information Security, 18(3), 21-28.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). *Data mining concepts and techniques*. Elsevier.
- Huang, S., & Fang, N. (2013). Predicting student academic performance in an engineering dynamics course: a comparison of four types of predictive mathematical models. Computers & Education, 61, 133-145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.08.015>
- Hussain, S., Dahan, N. A., Ba-Alwib, F. M., & Ribata, N. (2018). Educational data mining and analysis of students' academic performance using WEKA. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 9(2), 447-459. doi: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v9.i2.pp447-459>
- Rahman, M. H., & Islam, M. R. (2017). Predict student's academic performance and evaluate the impact of different attributes on the performance using data mining techniques. IEEE 2nd International Conference on Electrical & Electronic Engineering (ICEEE), 1-4. doi: <https://doi.org/10.1109/ICEEE.2017.8412892>
- Sana, Siddiqui, I. F. & Arain, Q. A. (2019). Analyzing students' academic performance through educational data mining. 3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme. Special Issue, 402-421. doi: <http://dx.doi.org/10.17993/3ctecno.2019.specialisue2.402-421>
- Theodoridis, S., & Koutroumbas, K., (2009). *Pattern recognition (4th ed.)*. Academic Press.
- Zaffar, M., Hashmani, M. A., & Savita, K. S. (2017). Performance analysis of feature selection algorithm for educational data mining. IEEE Conference on Big Data and Analytics (ICBDA), 7-12. doi: <https://doi.org/10.1109/ICBDAA.2017.8284099>
- Zhang, Y., Yun, Y., An, R., Cui, J., Dai, H., & Shang, X. (2021). Educational data mining techniques for student performance prediction: method review and comparison analysis. Frontiers in Psychology, 12, 698490-698490. doi: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.698490>

ÇOK GEVŞEK TEMİZ KUMLARIN STATİK SIVILAŞMASI VE DİLATİF DAVRANIŞINA SİLTLERİN ETKİSİ

Sinan GÜRBÜZ¹, Kamil Bekir AFACAN^{2*}

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-0800-7587>

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-3667-4432>

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Silt, gevşek temiz kum, dilatatif davranış, statik sivilaşma, üç eksenli basınç deneyi</i>	<i>Suya doymun kohezyonsuz zeminlerin sivilaşması geoteknik mühendisliği açısından büyük öneme sahip bir olgu olmuştur. Dinamik veya statik yükler sonucu gerçekleşen bu olay çoğu zaman büyük yer değiştirmelere neden olarak ciddi ekonomik ve sosyal zararlara sebep olmaktadır. Tarih boyunca sivilaşma gerçekleştirmiş suya doymun gevşek kumların önemli bir çoğunluğunun belli miktarlarda silt muhteva ettiği görülmüştür. Siltlerin drenajsız koşulda monotonik yükleme altında statik sivilaşma potansiyeline etkisi araştırmacılar tarafından uzun süredir tartışma konusu olmuştur. Bu nedenle silt içeren kumlu zeminlerden oluşan su altı şevleri, kıyı ve liman zeminleri ve hidrolik dolgular gibi yapıların monotonik yükleme altında statik sivilaşma potansiyelinin belirlenebilmesi için drenajsız üç eksenli basınç deneyleri yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında temiz kumlar ve siltli temiz kum karışımları üzerinde drenajsız üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiş ve siltlerin temiz kumların dilatatif davranışına ve statik sivilaşması üzerine etkisi araştırılmıştır. Bunun için %6 ve %12 oranında hazırlanan siltli temiz kum karışımları, %0, %10 ve %20 rölatif sıklık oranlarında nemli sıkıştırma yöntemi ile yerleştirilip 50,100 ve 150 kPa çevre basınçları altında drenajsız üç eksenli basınç deneyiyle monotonik yükleme uygulanmıştır. Silt içeriğinin artışıyla temiz kumların dilatatif davranışının arttığı ve buna bağlı olarak aşırı boşluk suyu basıncında artış gerçekleşerek gevşek kum zeminler için statik sivilaşma potansiyelini artırdığı açıkça görülebilmektedir.</i>

INFLUENCE OF SILTS ON VERY LOOSE CLEAN SAND'S STATIC LIQUEFACTION AND DILATIVE RESPONSE

Keywords	Abstract
<i>Silt, loose clean sand, dilative response, static liquefaction, triaxial compression test</i>	<i>The liquefaction of the saturated cohesionless soils is a very important phenomenon for geotechnical engineers. This event, which occurs under cyclic or static loadings mostly causes large deformations which leads to serious economic or social damages. Throughout history, it has been observed that a significant majority of liquefied saturated loose sands contain certain amount of silt. The effects of silts on the static liquefaction potential under monotonic loadings with undrained conditions have long been the subject of debate by researchers. For this reason, undrained triaxial compression tests are required to determine the potential of static liquefaction under monotonic loading of the structures such as submarine slopes, mine tailings and hydraulic fillings containing silty sands. In this study, undrained triaxial compression tests carried out on clean sands and silt clean sand mixtures and effects of the silts on dilative response and static liquefaction are investigated. For this purpose, silt clean sand mixtures prepared in 6% and 12% ratios were deposited %0, %10 and %20 relative densities with moist-tamping method and monotonic loading were applied with undrained triaxial compression tests under 50,100 and 150 kPa confining pressures. With the increasing silt content, it can be clearly seen that the dilative response of clean sands increases and therefore building more excess pore pressure which leads to increasing of the potential for static liquefaction for loose sand samples.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

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

Başvuru Tarihi	: 16.02.2022	Submission Date	: 16.02.2022
Kabul Tarihi	: 01.04.2022	Accepted Date	: 01.04.2022

1. Giriş

Suya doymuş kohezyonsuz zeminlerin sıvılaşması durumu geoteknik mühendisliğindeki en çok merak edilen aynı zamanda da en karmaşık olgularından biri olmuştur. Aşırı boşluk suyu basıncının yükselmesi sonucu efektif gerilmenin sıfırlanarak zeminin viskoz özellik göstermesi halinde meydana gelen sıvılaşma, taşıma gücü kayıpları ve buna bağlı büyük yer değiştirmelere sebep olarak ciddi yapısal hasarlara neden olabilir. Literatür de sıvılaşma kavramı genellikle depremler nedeniyle meydana gelen dinamik yüklemeler sonucunda oluşan bir durum olarak bilinir. Castro (1969) yaptığı çalışma ile monotonik yükleme nedeniyle drenajsız koşullarda ani aşırı boşluk suyu basıncı geliştiren kumların da sıvılaşabileceğini göstermiş ve bunu statik sıvılaşma olarak tanımlamıştır. Lade ve Yamamuro (2011) yayınlarında bugüne kadar çeşitli yapılarda meydana gelmiş 20 statik sıvılaşma örneğinden bahsetmiştir. Literatürde çokça sıvılaşma potansiyeli SPT, CPT ve kuyu yöntemi gibi arazi deneylerine bağlı kayma dalgası hızı ilişkilendirilmiş olmasına rağmen, statik sıvılaşma potansiyeli için bu tür yöntemler önerilmemiştir. Arazi deneyleri dışında, kum zeminlerle teşkil edilmiş farklı dolgu yapılarının (setler, doğal şevler, kıyı ve liman zeminleri ve hidrolik dolgular vb.) statik sıvılaşma potansiyeleri klasik drenajsız üç eksenli deneylerle araştırılması mümkün olmaktadır. (Etminan, 2016) Bu çalışma da CEN standart kumu (TS EN 196-1) üzerinde drenajsız üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiş ve statik sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir. Lade ve Yamamuro (1997) yaptığı çalışmada temiz kumların çok düşük göreceli sıklık oranlarında dahi içerisinde silt bulunan kumlar kadar kolay sıvılaşmayacağını söylemiştir. Bunun sebebi olarak temiz kumların daha hızlı şekilde dilatif davranacağını ve bunun sonucu olarak da statik sıvılaşma potansiyelinin düşük olduğunu belirtmiştir. Temiz Ottawa kumunun statik yükler altında sıvılaşabilmesi için %0 rölatif sıklıkta numunelerle çalışmıştır. Fakat CEN temiz kumu %0 rölatif sıklıkta dahi tamamen sıvılaşmamıştır. Ishihara (1993) sıvılaşma meydana gelmiş zeminlerin içerisinde bir miktar ince dane bulduran gevşek kumlar olduğunu ifade etmiş ve temiz kumlardan ziyade siltli kumlar üzerine yoğunlaşmanın daha gerekli olduğunu savunmuştur. Buradan yola çıkarak bu çalışmada kuru kütle oranları farklı yüzdelerde silt temiz kuma eklenerek silt-temiz kum karışımları hazırlanmış ve siltin temiz kumların sıvılaşma potansiyeline etkisi araştırılmıştır. Siltlerin kumların drenajsız davranışına etkisi geçmiş yıllarda birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Fakat gözlemler ve sonuçlar hakkında ortak bir karar bulunmamaktadır bazı araştırmacılar siltlerin sıvılaşma potansiyelini artırdığını söylerken

bazıları ise aksini savunmuştur. Bu fikir ayrılığının olası sebeplerinden bazıları farklı numune yerleştirme yöntemleri, kullanılan çevre basınçları, rölatif sıklıklar, silt içeriği, siltin dane dağılımından ve siltin karakteristiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Lade ve Yamamuro, 2011).

Kumların drenajsız koşullarda sıvılaşma potansiyelini etkileyen ne etkili faktörlerden biri numunenin yerleştirilme biçimidir. Bu çalışmada literatürde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan nemli sıkıştırma (Castro, 1969; Kramer ve Seed, (1988); Ishihara, 1993) yöntemi bütün numuneler için kullanılmıştır. Nemli sıkıştırma yöntemi numunede yapay bir kohezyon oluşmaktadır ve numune içerisinde hacimsel boşluklar yaratarak statik sıvılaşma potansiyelini artırdığı düşünülmektedir. Diğer önemli faktör ise kullanılan siltin dane dağılımıdır. Siltler statik sıvılaşma potansiyelini iki şekilde artırabilmektedirler. Bunlardan ilki iri daneler arasına yerleşip kesme esnasında iri daneleri temas halinde tutarak daha büyük hacimsel boşluklar oluşturmalarından kaynaklanmaktadır. İkinci durumda ise ince danelerin içsel çekim kuvveti yer çekim kuvvetinden daha etkili olarak ince danelerin bir arada kalma eğiliminde olması ve boşluk oranını artırmasıdır. Diğer faktörlerde ise literatürde bir fikir birliği sağlanmıştır. Statik sıvılaşma gevşek kumlarda ve düşük çevre basınçlarında gerçekleşen bir olaydır. Tekrarlı yükler altında sıvılaşma konusu da literatürde çokça araştırılmış ve Bayrakçı, Balaban, Onur, Özmen ve Pekkan. (2021) son yıllarda yapılan çalışmaları detaylı olarak sunmuşlardır. Bu çalışmada gevşek temiz kumların ve siltlerin gevşek temiz kumların statik sıvılaşma potansiyeline etkisini araştırmak amacıyla, iki farklı silt yüzdesiyle, üç farklı düşük çevre basıncında ve iki farklı rölatif sıklıkta konsolidasyonlu drenajsız üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

2. Teori

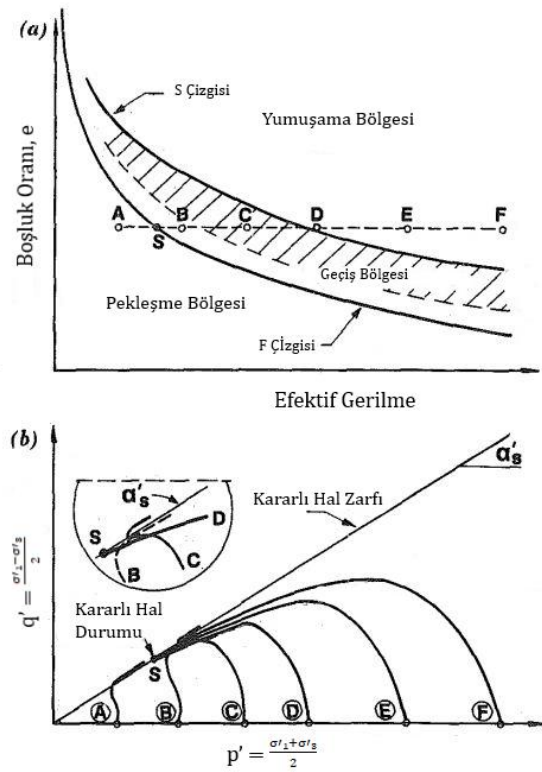
Castro ve Poulos (1977) tarafından ortaya konulan kararlı hal çizgisi; zeminlerin boşluk oranına karşı efektif çevre basıncı grafiğinden elde edilerek, zeminin daralma ya da genişleme eğiliminde olduğunu anlamak için kullanılmıştır. Buna göre çizgi üzerinde kalan numuneler akma tipi sıvılaşma gerçekleştirirken, çizgi altında kalan numuneler ise dinamik sıvılaşmaya maruz kalmaktadır. Ayrıca yazarlar bu çalışmada statik ve dinamik sıvılaşmayı etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Efektif çevre basıncının akma tipi sıvılaşma için en önemli faktörlerden biri olduğunu saptamışlardır.

Daha sonra Alarzon-Guzman, Leonards ve Chameau (1988) kararlı hal çizgisinin özellikle yüksek ölçüde daralma eğilimi gösteren kumlar için tek başına yeterli olmadığını ifade ederek yeni bir diyagram sunmuşlardır. Sunulan bu diyagram Castro ve Poulos (1977) tarafından sunulan iki bölümden oluşan (daralma ve genişleme) diyagrama göre daha detaylı olarak üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar; yumuşama bölgesi, geçiş bölgesi ve pekleşme bölgesidir. Yazarların hipotezine göre drenajsız koşullarda yapılan üç eksenli deneylerde yumuşama bölgesinde bulunan numuneler kesme esnasında tamamen sıvılaşmaya maruz kalır. Öte yandan pekleşme bölgesinde bulunan numuneler ise genişleme eğilimindedirler ve kesme aşaması boyunca numune dayanım kazanmaya devam eder. Son olarak geçiş aşamasındaki numuneler ise geçici sıvılaşma görülen numunelerdir. Yani kesme esnasında dayanımda bir miktar azalma görülmesinin ardından dilatatif davranış kontrolü devralarak dayanım kaybını sona erdirir ve dayanım artışı gerçekleşir. Kumların sabit boşluk oranında drenajsız monotonik yükleme altındaki davranışına dair diyagram şematik olarak Şekil 1'de verilmiştir.

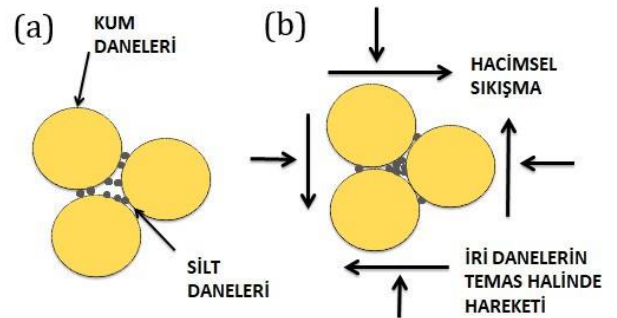
Şekilde görüldüğü gibi pekleşme bölgesinde yer alan A numunesi için, öncelikle daralma eğiliminde gibi davranarak çok az aşırı boşluk suyu basıncı oluşmuş daha sonra genişleme hemen devreye girerek grafik bir dirsek vermiş dayanım kazanımı gerçekleşmiştir. Bu diyagramda F çizgisi drenajsız deneylerden elde edilen dayanım sonuçlarıyla elde edilirken, S çizgisi ise drenajlı deneylerden elde edilir. F çizgisinin S çizgisinden bir miktar daha aşağıda yer almasının nedeni zemin içerisinde oluşan aşırı boşluk suyu basıncından kaynaklanmaktadır. Son olarak yumuşama bölgesinde bulunan numunelerde ise büyük dayanım kayıpları görülmektedir. Sadece A ve B numuneleri için hiçbir yumuşama görülmeden pekleşme gerçekleşmiştir.

Daha önceki bölümde de bahsedildiği üzere siltlerin kumların davranışına iki farklı etkisi bulunmaktadır. Bu bölümde bu etkiler detaylı biçimde irdelenecektir. Lade ve Yamamuro (1997) yaptıkları çalışmada siltli kumların davranışı için, karışımında bulunan silt daneleri iri kum danelerinin arasına yerleşerek boşluk oranını azaltır ve sıklığı artırır. Literatüre göre sıklık artışının sıvılaşma potansiyelini azaltması beklenir fakat statik sıvılaşma için durum farklıdır.

Şekil 2'de (a) durumu numunenin yerleştirildiği esnadaki halini (b) durumu ise konsolidasyon sonrası kesme aşamasındaki halini göstermektedir. Silt daneleri iri kum danelerini yükleme esnasında temas halinde tutarak komşu danelerin beraber hareket etmesini sağlar bu da daha büyük hacimsel boşluklar oluşmasına neden olarak genişleme davranışını artırır ve statik sıvılaşma gerçekleşmesine neden olur. Bu durum tersine davranış olarak bilinir.

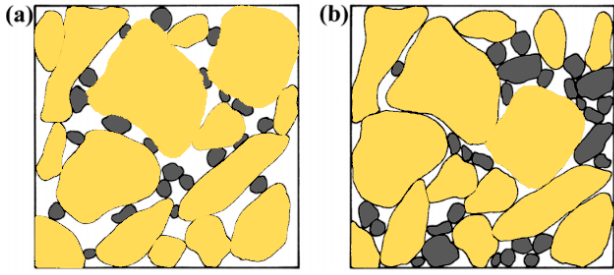


Şekil 1. Sabit Boşluk Oranında Drenajsız Monotonik Yükleme Davranış Diyagramı (Şematik) a) Hal Diyagramı b) q-p Grafiği



Şekil 2. Siltli temiz kumun şematik diyagramı (Lade ve Yamamuro, 1997)

Lade ve Yamamuro (2011) daha sonra yaptıkları bir diğer çalışmada **tersine davranışın** siltli kumların davranışını doğru şekilde yansıtmadığını ifade etmişlerdir, bu çalışmada elektron mikroskopu kullanarak 200'nolu elek altı ince danelerin boyutu küçüldükçe daneler arası çekim kuvvetinin yerçekimi kuvvetinden daha etkili olduğunu gözlemlemişlerdir.



Şekil 3. Siltli temiz kumun şematik diyagramı (Lade ve Yamamuro, 2011)

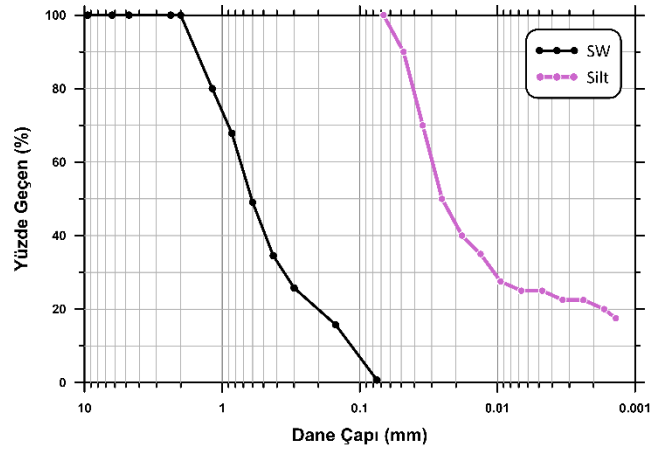
Bu nedenle Şekil 3 (a)'da görüldüğü gibi 200'ncü elek altı ince daneler iri danelerin arasına yer çekimi etkisiyle yerleşmekte (b)'deki gibi içsel çekim kuvvetiyle birbirlerine bağlı kalma eğiliminde olup sürtünme etkisinin de yardımıyla yüksek boşluk oranına sahip petek yapılar oluşturmaktadır. Bu da aşırı boşluk suyu basıncının artmasına sebep olarak numunelerin tamamen statik sıvılaşmasına neden olmaktadır.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Materyal

Bu çalışmada CEN standart kumu (TS EN 196-1) kullanılmıştır ve drenajsız üç eksenli deneyi ile sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir. Sıvılaşma potansiyeline etki eden en önemli faktörlerden biri de dane dağılımıdır. Dane dağılımının tespiti için deneysel süreç elek analizi ile başlatılmıştır ve zemin sınıfı iyi derecelendirilmiş kum (SW) olarak belirlenmiştir. Daha sonra dane özgül ağırlığı belirlenmiş ve rölatif sıklık değerlerinin belirlenebilmesi için e_{maks} ve e_{min} değerleri bulunmuş ve numunelerin deney için hazırlanışında bu değerler kullanılmıştır. Lade ve Yamamuro (1997) yaptıkları çalışmalar sonucu temiz kumların sıvılaşma direncinin siltli kumlara göre çok daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Rölatif sıklığı düşük çok gevşek temiz kumlarda bile sıvılaşma gerçekleşmezken çalışmalarında kullandıkları %6 silt içeriğine sahip Nevada kumu %22 rölatif sıklıkta sıvılaşmıştır. Silt içeriği yüksek zeminlerin %60 rölatif sıklıkta dahi monotonik yükleme altında sıvılaşabileceklerini belirtmişlerdir. Buradan yola çıkarak bu çalışma da silt oranları %6 ve %12 olarak belirlenmiştir. Karışım oluşturmak amacı ile Sakarya bölgesinden alınan siltli kum numunesi 200'ncü elekten yıkanarak siltler ve kumlar ayrıştırılmıştır daha sonra elde edilen silt numunesi temiz kumun kuru kütlesine oranla farklı yüzdelerde karıştırılmış ve karışımlar içinde özgül ağırlık ve e_{maks} , e_{min} deneyleri tekrarlanarak gerekli değerler bulunmuştur. Böylece bütün numuneler için aynı rölatif sıklık oranında deneyler gerçekleştirilmiştir. Temiz kumun ve kullanılan silt

numunesinin dane dağılım eğrisi Şekil 4'te ve kullanılan temiz kumun fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 4. Temiz Kum ve Siltin Dane Dağılım Eğrisi

Tablo 1

Temiz Kumun Zemin Sınıflandırması ve Fiziksel Özellikleri

Çakıl (%)	0,000
Kum (%)	99,310
Silt ve Kil (%)	0,690
D_{60} (mm)	0,750
D_{30} (mm)	0,360
D_{10} (mm)	0,115
C_c	6,520
C_u	1,500
USCS	SW
G_s	2,650
e_{maks}	0,705
e_{min}	0,460

3.2. Deneysel Yöntem

Deneysel süreç Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Zemin Mekaniği laboratuvarında yürütülmüştür. Deneyler esnasında veya deney sonuçlarının değerlendirilmesi aşamasında araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Gevşek kumların drenajsız monotonik yükleme altında sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi için bir dizi üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Üç Eksenli Basınç Deney Sistemi

Literatürde numune yerleştirme yönteminin statik sıvılaşma da büyük bir etkisi olduğu bilinmektedir. Bu çalışma kapsamında deneye tabi tutulmuş bütün numuneler nemli sıkıştırma yöntemi ile yerleştirilmiştir. 50 mm çap ve 100 mm yüksekliğe sahip kalıbın hacmi hesaplanır ve %0, %10 ve %20 rölatif sıklığa karşılık gelen kuru numune ağırlığının %5'i kadar saf su ile homojen bir biçim alana kadar karıştırılır. Daha sonra karışım eşit tabakalar halinde kauçuk sıvı geçirmez membran sarılmış kalıbın içerisine nazikçe yerleştirilir ve her tabaka yerleştirilmesinin ardından üzerine tokmak yardımıyla yavaşça vurulur bu esnada tabakalar arası rölatif sıklık farkı olmamasına özen gösterilmelidir ve mümkün olduğunca aynı

miktarda enerji uygulanarak yerleştirilmeye çabalanmalıdır. Yerleştirme işlemi bittikten sonra kalıp içerisindeki numuneye vakum uygulaması yapılır, nemli sıkıştırma yöntemi yapay bir kohezyon oluştursa dahi numuneyi ayakta tutmak için yetersiz kalabilir bu yüzden -10 kPa'a kadar vakum işlemi uygulandıktan sonra ancak kalıp çıkarılabilmektedir. Üç eksenli deney hücresi yerine yerleştirilip sabitleme vidaları sıkılarak deformasyon saati ayarlanır ve hücre içerisi damıtık su ile doldurulur.

Yerleştirme aşaması sona erdikten sonra 20 kPa hücre basıncı uygulanır bu işlem verilen CO₂'in membran ve numune arasından geçerek numuneyi doyurmadan çıkmaması için önemlidir. Numune CO₂ gazı ile alt kısmından üst kısmına doğru 30 dakika boyunca doyurulur. Doğunluk aşaması esnasında hücre içerisindeki basınç ve numune içerisindeki basınç farkının yani efektif gerilmenin 30 kPa'ı geçmemesi ve aşırı konsolidasyon gerçekleşmemesine özen gösterilmiştir. Doğunluk işlemine B değeri 0.95-1 olana kadar devam edilmiştir. Doğun hale gelmiş numuneler 50,100 ve 150 kPa çevre basınçları altında konsolide edilir. Konsolidasyon işlemi biter bitmez **hacimsel sıkışmayı** engellemek amacıyla hemen kesme işlemi başlatılır. Bütün kesme işlemleri deformasyon kontrollü olarak 1 mm/dk olacak şekilde yapılmıştır ve deformasyon seviyesi %20 olana kadar sürdürülmüştür.

4.Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında temiz kum ve siltli temiz kum karışımlarından oluşan numunelerden %0, %10 ve %20 rölatif sıklığa sahip toplam 13 adet deney yapılmış olup sonuçları özet olarak Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2

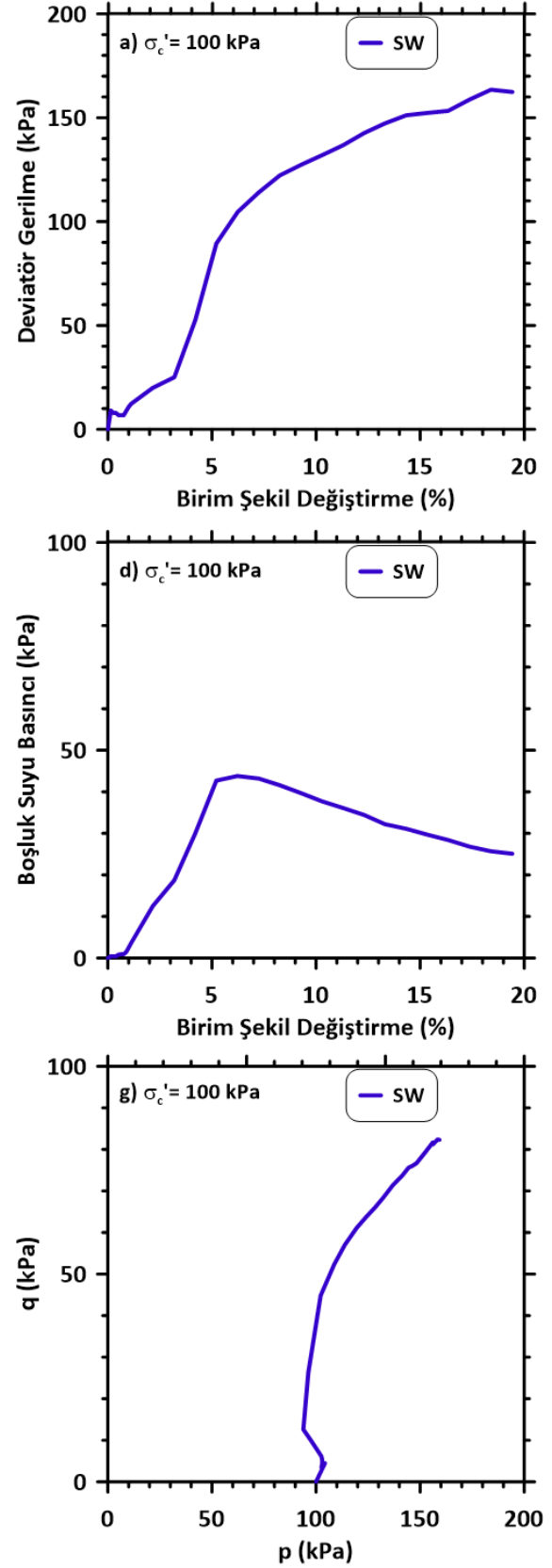
Konsolidasyonlu Drenajsız Statik Üç Eksenli Deney Sonuçları Özeti

No.	Numuneler	Sembol	Rölatif Sıklık	Çevre Basıncı	q _{max}	Aşırı Boşluk Suyu Basıncı
1	Temiz Kum	T. K	0	100	82,4	22,9
2	Temiz Kum	T. K	10	50	67,8	-14,9
3	Temiz Kum	T. K	10	100	97,1	39,0
4	Temiz Kum	T. K	10	150	132,1	95,6
5	Temiz Kum + %6 Silt	%6 S.T. K	10	50	50,5	-3,3
6	Temiz Kum + %6 Silt	%6 S.T. K	10	100	104,6	40,1
7	Temiz Kum + %6 Silt	%6 S.T. K	10	150	126,8	52,2
8	Temiz Kum + %12 Silt	%12 S.T. K	10	50	35,4	50
9	Temiz Kum + %12 Silt	%12 S.T. K	10	100	61,3	100
10	Temiz Kum + %12 Silt	%12 S.T. K	10	150	81,0	150
11	Temiz Kum + %12 Silt	%12 S.T. K	20	50	41,4	27,0
12	Temiz Kum + %12 Silt	%12 S.T. K	20	100	66,1	82,9
13	Temiz Kum + %12 Silt	%12 S.T. K	20	150	157,2	28,9

4.1 Temiz Kumların Davranışı

Daha önce yapılan çalışmalar statik sıvılaşmanın düşük çevre basınçlarında gerçekleşen bir olay olduğunu göstermiştir. Bu gözlem tarihte yaşanan statik sıvılaşma olayları ile de örtüşmektedir. Tarih boyunca bildirilen kıyı ve liman zeminleri, su altı şevleri ve barajlar gibi birçok statik sıvılaşma örneği 5-40 metre derinlikler arasında meydana gelmiş bulunup bunların çoğunluğunu ise 20 metreden düşük derinlikler oluşturmaktadır. (Middlebrooks 1942; Peck ve Kaun 1948; Andresen ve Bjerrum 1968; Bjerrum 1971; Troncoso 1988; Lade 1993). Bu sonuçlar ışığı altında statik sıvılaşma araştırmaları genellikle 0-250 kPa arasında efektif gerilmeye maruz kalmış gevşek doymuş kumlar üzerinde yapılmıştır. Lade ve Yamamuro, (1997) %6 silt içerikli Newada kumu üzerinde %22 rölatif sıklıkta yaptıkları çalışmalar sonucu statik sıvılaşmanın 125 kPa ve altındaki çevre basınçlarında gerçekleşeceğini belirtmiş, Sabbar, Chegenizadeh ve Nikraz, (2017) ise Perth temiz kumuyla yaptıkları çalışmalar sonucunda bu sınırı 100 kPa olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada CEN temiz kumu için %0 ve %10 rölatif sıklıklarda yerleştirilen numunelere 50,100 ve 150 kPa çevre basınçları altında kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Numunelerden hiçbirinde tamamen sıvılaşma görülmemiştir. Doymuş kumlar yüklemeye altındayken önce su daneleri yükü alır ve aşırı boşluk suyu basıncı oluşur. Aşırı boşluk suyu belli bir seviyeye geldikten sonra kum danelerinin birbirlerinde ayrılmasına sebep olur ve yük su danelerinden kum danelerine geçer. Aşırı boşluk suyu basıncı düşmeye başlar ve bu olay dilatif davranış olarak bilinir. Şekil 3'te görüldüğü üzere %0 rölatif sıklıkta dahi temiz kum üzerinde tam statik sıvılaşma gerçekleşmemiştir. Aşırı boşluk suyu basıncının ani artışı sonucu dayanım bir miktar düşmüş ardından dilatif davranışa geçerek boşluk suyu basıncı azalmıştır bu efektif gerilmenin tekrardan artmasına sebep olarak dayanımın da artmasına neden olmuştur. Dilatif davranış gösteren suya doymuş kumlar için eğer çevre basıncı yeterince düşük ise kumlar gevşek olsa dahi dilatif davranıştan ötürü sıkı gibi davranış göstermektedirler (Holtz ve Kovacs, 1981).

Dilatif davranış nedeniyle temiz kumlar düşük çevre basınçları altında tamamen sıvılaşma potansiyeli göstermeyebilirler. Dilatif davranış göstermeyecekleri çevre basınçları ise statik sıvılaşmanın gerçekleşmesi için çok yüksektir. Bu nedenle çok gevşek temiz kumların monotonik yüklemeler altında tamamen sıvılaşmayacağını söylemek mümkündür. Şekil 6'da %0 rölatif sıklıkta ve 100 kPa çevre basıncında gerçekleştirilen deneyin deney sonuçları verilmiştir. Aşırı boşluk suyu basıncı en fazla 45 kPa olarak ölçülmüş ve statik sıvılaşma söz konusu olmamıştır.



Şekil 6. %0 Rölatif Sıklıkta Hazırlanan Numunenin Deney sonuçları

4.2 Siltli Temiz Kumun Davranışı

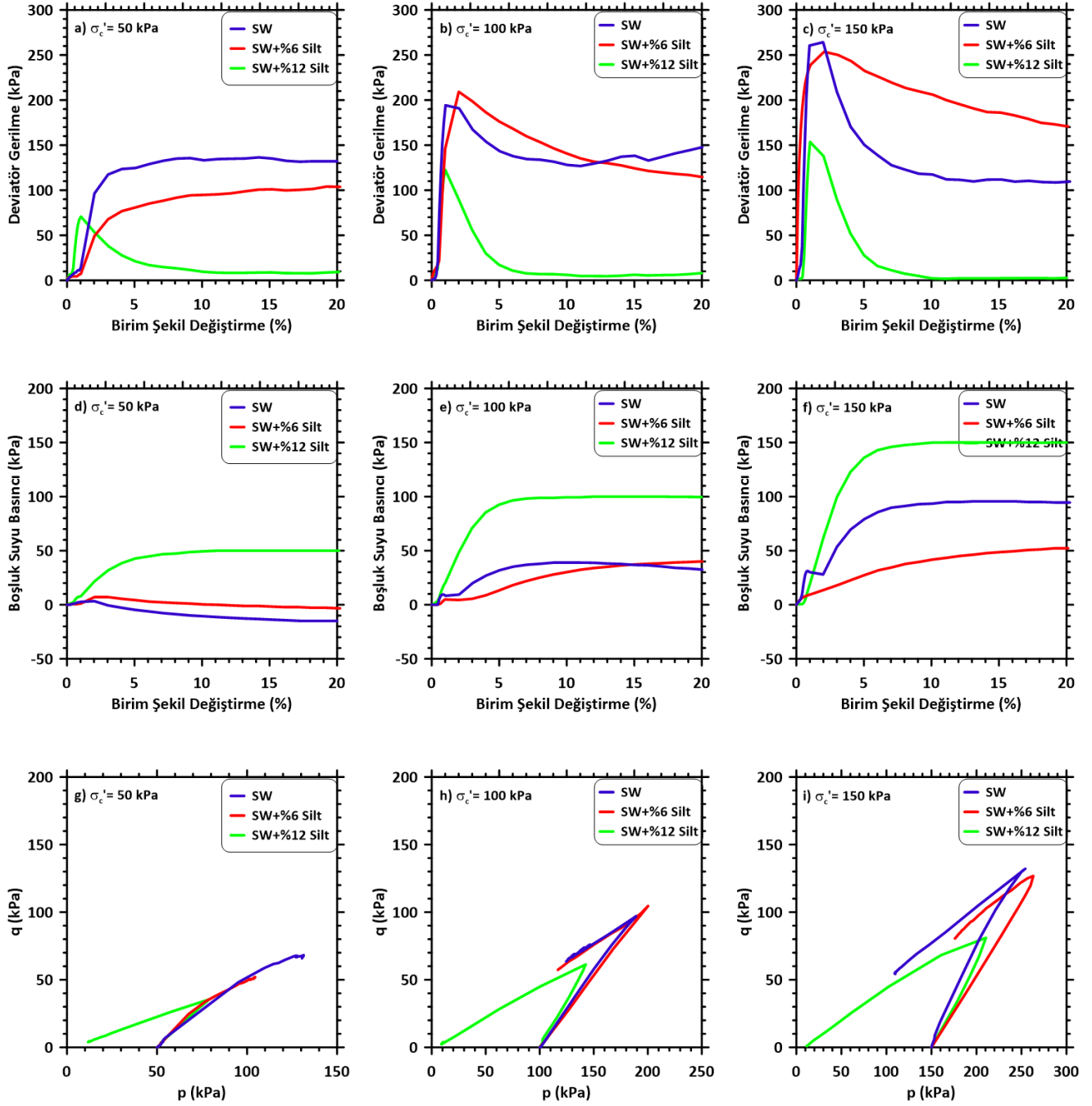
Bu çalışmada 200'nolu elekten yıkanarak elde edilen silt numunesi temiz kumların statik sıvılaşma potansiyeline silt danelerinin etkisini araştırmak amacıyla temiz kumla karıştırılmıştır. Oluşturulan silt-temiz kum karışımlarında 2011'de yapılan çalışmayla benzerlik göstermiş olup oluşturulan siltli temiz kum karışımların da boşluk oranı artışı gözlemlenmiştir. Buda davranışın değişmesine neden olarak numunelerde tamamen sıvılaşmaya neden olmuştur. Karışımların boşluk oranları Tablo 3'te ve deney sonuçları Şekil 7'de verilmiştir.

Tablo 3

Temiz Kum ve Siltli Temiz Kum Karışımların Boşluk Oranları ve Özgül Ağırlıkları

Numune	G_s	e_{min}	e_{maks}
T. K	2,650	0,460	0,705
%6 S.T. K	2,680	0,530	0,730
%12 S.T. K	2,693	0,540	0,740

Şekil 7'de %10 rölatif sıklıkta 50, 100 ve 150 kPa çevre basınçları altında konsolide edildikten sonra, drenajsız durumda yüklenmiş temiz kumun ve siltli temiz kumların deney sonuçları verilmiştir. %6 siltli temiz kum için küçük miktarlarda değişimler gözlenmiştir fakat statik sıvılaşma potansiyelini artırdığı görülmektedir. Silt yüzdesi %12'ye çıkarıldığında ise numunelerin tamamen statik sıvılaşığı görülmektedir ve statik sıvılaşma sadece 100 kPa ve altındaki çevre basınçları için değil 150 kPa çevre basıncında da gerçekleşmiştir. Monotonik yüklemeler altında drenajsız koşulda doymun kum numuneleri fıçılama özelliği göstermektedirler. Statik sıvılaşmanın gerçekleştiği numunelerde membran üzerinde kırışıklar oluşmaktadır; (Şekil 8) bu numunenin tekdüze bir formda içsel deformasyonlara maruz kaldığının göstergesidir.



Şekil 7. Temiz Kum ve Farklı Oranda Silt İçeriğine Sahip Numunelerin Deney Sonuçları

4.3 Rölatif Sıklık Etkisi

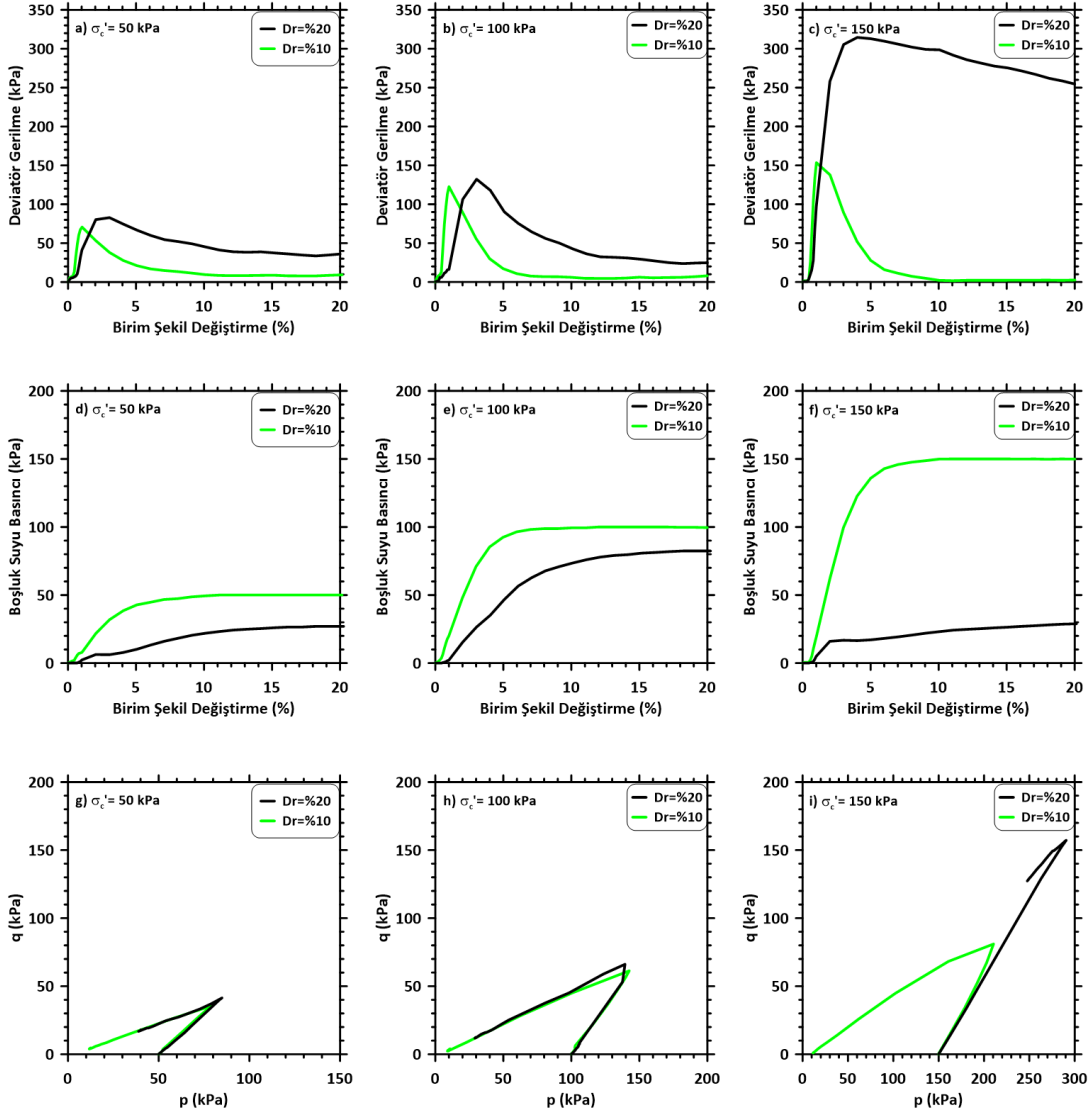
Literatürde yapılan deneysel çalışmalar ve tarihte bildirilen statik sıvılaşma vakalarının hepsi düşük sıklığa sahip çok gevşek zeminler ve numuneler üzerinde gerçekleşmiştir. Statik sıvılaşma düşük rölatif sıklıklarda gerçekleşen bir olaydır. Tamamen statik sıvılaşma efektif gerilmenin sıfırlanması olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan %12 siltli

temiz kumla %10 ve %20 rölatif sıklıkta deneyler yapılmıştır. %10 rölatif sıklıktaki numunelerin hepsi tamamen statik sıvılaşmıştır, Rölatif sıklık artırıldığında ise numunelerde geçici sıvılaşma görülmüştür. Sıklık değişiminin numunelerin davranışı üzerindeki etkisini görebilmek mümkündür. Deney sonuçları Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8(a) Statik Sıvılaşma Gerçekleşmemiş Numune

Şekil 8(b) Statik Sıvılaşma Gerçekleşmiş Numune



Şekil 9. Farklı Sıvılık Oranlarında Hazırlanmış Silt-Temiz Kum Karışımlarının Deney Sonuçları

5. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında siltlerin temiz kumların statik sıvılaşması ve dilatif davranışına etkisini gözlemlemek amacıyla temiz kumlarda ve temiz kumun kuru kütlelerine oranla iki farklı yüzdede (%6 ve %12) hazırlanan siltli temiz kum karışımları üzerinde üç farklı rölatif sıklıkta (%0, %10 ve %20) ve üç farklı çevre basıncı altında (50, 100 ve 150 kPa) drenajsız konsolidasyonlu üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Akabinde şu sonuçlara ulaşılmıştır;

- CEN temiz kumu monotonik yükleme altında statik sıvılaşma göstermemektedir. Statik sıvılaşma gösterebileceği düşük çevre basınçlarında dilatif davranış göstermektedir. Buda aşırı boşluk suyu basıncının belirli bir seviyeye kadar artış gösterip daha sonra azalmasına neden olmaktadır. Bu durum %0 gibi gerçek dışı bir rölatif sıklık miktarı için bile bu şekilde gerçekleşerek statik sıvılaşma görülmemiştir.
- Dilatif davranış nedeniyle gevşek kumlar sıkı kum davranışı göstermektedirler. 50 kPa çevre basıncı altındaki numune sıkı kum gibi davranmış ve 150 kPa çevre basıncındaki davranışla benzerlik göstermiştir. Kumların drenajsız durumda statik sıvılaşmalarını incelemek için en uygun çevre basıncı 100 kPa olarak belirlenmiştir.
- Kullanılan silt numunesi için; silt daneleri yer çekimi etkisiyle kum daneleri arasına yerleşerek sıklığı artırmak yerine içsel çekim kuvvetinin etkisiyle bir arada kalma eğilimi göstererek boşluk oranının artmasına sebep olarak statik sıvılaşma potansiyelini artırmaktadır.
- Temiz kumun içerisindeki silt miktarı arttıkça statik sıvılaşma potansiyelinin arttığı görülmüştür. %6 siltli numuneler için davranış az miktarda değişse dahi %12 siltli numuneler tamamen sıvılaşarak silt miktarındaki değişimin sıvılaşma potansiyeli için önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.
- Statik sıvılaşma düşük çevre basınçlarında gerçekleşen bir olaydır. Çevre basıncı artışıyla sıvılaşma potansiyeli azalmaktadır. Bunun sebebi yüksek çevre basınçlarında numunelerin daha iyi sıkışmasından kaynaklanmaktadır.
- Statik sıvılaşma çok düşük rölatif sıklıktaki zeminlerde gerçekleşmektedir. %10 rölatif sıklıktaki bütün numuneler tamamen statik sıvılaşırken %20 rölatif sıklıkta aşırı boşluk suyu basıncında düşüş yaşanmış hiçbir numune de tamamen statik sıvılaşma gerçekleşmemiştir. 150 kPa çevre basıncı altındaki numune ise hem rölatif sıklık artışı

hem de yüksek çevre basıncının etkisiyle statik sıvılaşmaya karşı büyük bir direnç görülmüştür.

Teşekkür

Bu tez Sinan Gürbüz'ün yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Deneyler esnasında teknik desteğini esirgemeyen Doç.Dr. Hasan Savaş'a teşekkürü bir borç biliriz.

Araştırmacıların Katkısı:

Bu çalışmada; Sinan Gürbüz, deneylerin gerçekleştirilmesi, literatür araştırması, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımında, Kamil Bekir Afacan, deneylerin tasarlanması, literatür araştırması, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması:

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Alarcon-Guzman, A., Leonards, G. A., ve Chameau, J. L. (1988). Undrained monotonic and cyclic strength of sands. *Journal of Geotechnical Engineering*, 114(10), 1089-1109.
- Andresen, A., ve Bjerrum, L. (1968). Slides in subaqueous slopes in loose sand and silt. *Norwegian Geotechnical Institute Publ.*
- Bayrakçı, E. , Balaban, E. , Onur, M. İ. , Özmen, H. B. , Pekkan, E. "Geoteknik Mühendisliğinde 2016-2021 Yılları Arası Sıvılaşma Çalışmaları". *Disaster Science and Engineering* 7 (2021) : 11-19
- Bjerrum, L. (1971). Subaqueous slope failures in Norwegian fjords. *Norwegian Geotechnical Institute Publ*, (88).
- Castro. (1969). Liquefaction of Sands. (Doktora Tezi) Harvard Üniversitesi, Cambridge Massachusetts.
- Castro, G., ve Poulos, S. J. (1977). Factors affecting liquefaction and cyclic mobility. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 103(6), 501-516.
- Etminan, E. (2016). *Effects of Gradation, Fines Content and Silt Shape Characteristics on Static Liquefaction of Loose Sands*. (Doktora Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., ve Sheahan, T. C. (1981). An introduction to geotechnical engineering (Vol. 733). Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Ishihara, K. (1993). Liquefaction and flow failure during earthquakes. *Geotechnique*, 43(3), 351-415. <https://doi.org/10.1680/geot.1993.43.3.351>
- Kramer, H. B. S. (1988). Initiation of Soil Liquefaction Under Static Loading Conditions, 114(4), 412-430. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1988\)114:4\(412\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1988)114:4(412))
- Lade, P. V. (1993). Initiation of static instability in the submarine Nerlerk berm. *Canadian Geotechnical Journal*, 30(6), 895-904. <https://doi.org/10.1139/t93-088>
- Lade, P. V. ve Yamamuro, J. A. (1997). Effects of nonplastic fines on static liquefaction of sands. *Canadian Geotechnical Journal*, 34(6), 918-928. <https://doi.org/10.1139/t97-052>
- Lade, P. V. ve Yamamuro, J. A. (2011). Evaluation of static liquefaction potential of silty sand slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 48(2), 247-264. <https://doi.org/10.1139/T10-063>
- Middlebrooks, T. A. (1942). Fort peck slide. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 107(1), 723-742. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0005519>
- Peck, R. B., ve Kaun, W. V. (1948). Description of a flow slide in loose sand. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rotterdam* (Vol. 2, pp. 31-33).
- Sabbar, A. S., Chegenizadeh, A. ve Nikraz, H. (2017). Static liquefaction of very loose sand-slag-bentonite mixtures. *Soils and Foundations*, 57(3), 341-356. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2017.05.003>
- Troncoso, J. H. (1988). Evaluation of seismic behavior of hydraulic fill structures. In *Hydraulic Fill Structures* (pp. 475-491). ASCE.

EVALUATION OF PLATE LOAD TEST RESULTS: A CASE STUDY IN ANKARA/TURKEYSafa ÇEVİK^{1*}¹ Teknik Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., İstanbul.ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-7460-4745>**Keywords**

Elasticity Theory
Finite Element Method
Plate load test
Plaxis 2D
Settlement

Abstract

Plate load test is widely used for bearing capacity and settlement calculations of foundations. In this study, 6 plate load tests were carried out to determine the bearing capacity and settlement of the foundation. High-speed railway project will be constructed in related area. The project location is in Ankara/Turkey. Bearing capacity of the station platform building foundation was determined according to plate load test and finite element analysis. Finite element analysis (FEM) software, Plaxis 2D, was used for the understanding of the settlement behaviour of soil. Soil strength and deformation parameters were determined according to plate load test and finite element analysis. Elasticity theory was used for analytical solutions. Field measurements, finite element analysis (FEM) results and analytical solution were compared at final of the study. Finite element analysis (FEM) and elasticity theory settlement calculation results have a strong correlation with field observations.

PLAKA YÜKLEME DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ: ANKARA'DA BİR VAKA ANALİZİ**Anahtar Kelimeler**

Elastisite Teorisi
Sonlu Elemanlar Metodu
Plaka Yükleme Deneyi
Plaxis 2D
Oturma

Öz

Plaka yükleme deneyi temel taşıma gücü ve oturma hesaplarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada yapılan 6 plaka yükleme deneyi verisi kullanılarak taşıma gücü ve oturma hesapları yapılmıştır. Deneylerin yapıldığı bölgede yüksek hızlı tren hattı inşa edilecek olup proje lokasyonu Ankara'dır. İstasyon peron yapısı temelleri için sonlu elemanlar yazılımı ve plaka yükleme deney verileri kullanılarak taşıma gücü hesapları yapılmıştır. Zemin oturma davranışı sonlu elemanlar analiz program Plaxis 2D kullanılarak modellenmiştir. Zemin dayanım ve deformasyon parametreleri plaka yükleme deneyi ve sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenmiştir. Analitik çözümler için elastisite teorisi kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda plaka yükleme deney sonuçları, analitik çözüm ve sonlu elemanlar çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar ve elastisite teorisi ile hesaplanan oturmaların arazi ölçümleri (plaka yükleme deneyi sonuçları) ile güçlü bir korelasyon oluşturduğu görülmüştür.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 18.01.2022

Kabul Tarihi : 27.04.2022

Research Article

Submission Date : 18.01.2022

Accepted Date : 27.04.2022

1. Introduction

Soil bearing capacity and settlement are very important for foundation design in geotechnical engineering applications. Ultimate bearing capacity, foundation

settlement, elasticity modulus and subgrade modulus can be determined with plate loading test. This test may be carried out on foundation pits or ground surfaces. It is impossible to collect undisturbed samples with this

* Sorumlu yazar; e-posta : safacevik@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/>).

test method. Plate load test is carried out for soils, rocks and fills. This test is more suitable for grained soils and stiff fine-grained soils. Plate load tests have been standardized globally, such as ASTM D 1194-94, BS 1377-9: 1990, TS 5744: 1988. In this study, 6 plate load tests were carried out on the construction site. TS 5744: 1988 standard was used in the application. Finite element analysis (FEM) was carried out with Plaxis 2D. The behavior of soil was simulated as a case study.

2. Literature

Detailed literature researched in the scope of the study. Araujo et al. (2017) investigated the footing size effect of shallow foundations in sandy soils. Three plate load tests were carried out with diameters of 0,30, 0,50 and 0,80 m on sand backfill. Obtained stress-strain curves from the plate load test did not show a clear failure pattern, therefore, bearing capacity was determined with conventional failure criteria. In the conventional method, bearing capacity dependent on increasing plate size. For constant applied stress, settlement increases according to plate size increasing. But, obtained results showed that at the same applied stress, the settlement increases, but settlement increases occur nonlinearly.

Ping et al. evaluated the bearing capacity of pavement base and subgrade and embankment soils with a field plate loading test. In the scope of the study, 20 flexible pavement sites were selected in Florida. Bearing capacity, subgrade and embankment layers were determined for each site. Observed elasticity modulus from field plate load test, compared and validated with ELSYM5 software.

Omar (2017) investigated the strengthening of geogrid reinforcement of foundations on weak soils. Test pits were excavated 2 m x 2 m x 1,3 m, the diameter of plate is 0,45 m and thickness of the plate is 25 mm. The plate load test was carried out to understand the effect of geogrid layers on bearing capacity of soil. Earth pressure cells were used to measure horizontal and vertical stress in soil mass at different depths. With using of geogrid reinforcement, loads are transferred to soil as uniform and settlements values decrease.

Sultana et al. (2018) used the plate load test to estimate of ultimate bearing capacity of footings on soft clayey soil. According to using experimental results from the plate load test, author carried out sensitivity analysis. The author used hyperbolic model for the ultimate bearing capacity of footings. Confidence interval was determined as %95. This value shows that hyperbolic model is useful for footing design on soft clayey soils.

Boyle (1992) gave information about determining in situ deformability of rock using the plate load test according to The International Society for Rock Mechanics (ISRM). Author simulated the plate load test with finite element software SPECTROM-31. Material

models were selected as intact rock, jointed rock and partially excavated rock. Alternative method developed by author and discussed advantages and disadvantages.

Agharazi et al. (2014) evaluated the plate load test to determine the rock mass deformability at large dam sites. Numerical modeling was used to interpret for plate load test at the Bakhtiary Dam site. Jointed rock model was used for back analyses. The equivalent continuum deformation modulus was determined numerically.

3. Testing Procedure

In this test 10-25 mm thickness plate is used. Plate load test is carried out following stages. The testing procedure and typical load settlement graphic are shown in Figure 1.

- A hole is excavated with a minimum diameter of $4B$ (B is the diameter of the test plate) to a depth of D_f , the depth of the proposed foundation.
- The plate is placed at the center of the hole.
- Load is applied stage by stage.
- Plate settlements are measured and plotted the load-settlement curve. The measurement device must have an accuracy of 0,02 mm. The limit of settlement for ultimate bearing capacity is considered as 25 mm.

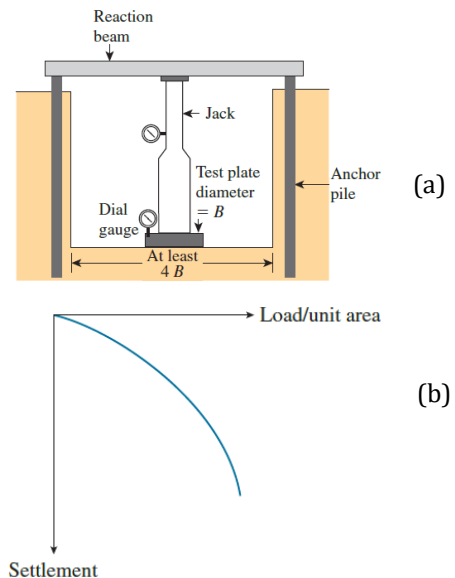


Figure 1. (a) Testing Procedure (b) Load-Settlement Curve (Das, 2019)

4. Theoretical Background of Plate Load Test

Stress and settlement determination is the base of the plate load test. When stress increases, plate settlement will increase. This relationship is represented by the Winkler method. Winkler (1867) was investigated the

stress-settlement relationship. This relationship is defined as a subgrade reaction in equation (1). Subgrade reaction is dependent on applied stress (q) and foundation settlement (Δ). Winkler's theory is illustrated by Das (2019) in Figure 2.

$$k = \frac{q}{\Delta} \tag{1}$$

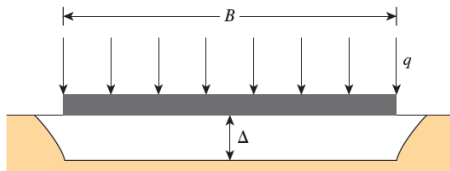


Figure 2. Winkler Theory (Das, 2019)

5. Settlement Based on Elasticity Theory (Analytical Method)

All structural materials possess to a certain extent the property of elasticity, producing deformation of a structure, do not exceed a certain limit, the deformation disappears with the removal of the forces (Timoshenko et al., 1951). Elasticity theory is a useful method for a lot of geotechnical engineering problems. There are several assumptions for settlement calculations. The soil is treated as an elastic continuum. The settlement occurs uniform for rigid foundations and nonuniform for flexible foundations. A plate of the plate load test is considered a rigid foundation. The settlement equation is given in equation (2). Settlement is dependent on applied stress (q_0), foundation width (B), soil elasticity modulus (E_s), Poisson ratio (μ_s) and influence factor (I). For circular foundations influence factor becomes $I=1$ for the center of the foundation and $I= 2/\pi$ for the perimeter of the foundation.

$$S_e = \frac{q_0 B}{E_s} (1 - \mu_s^2) I \tag{2}$$

6. Parameters From Plate Load Test

Mainly two parameters are determined from the plate load test. These parameters are elasticity modulus and subgrade modulus. Elasticity modulus is a very important parameter for the deformation behaviour of soil and foundation. A lot of correlations were developed by researchers for various soils and rocks. Elasticity modulus (E_s) derived from equation (2) and expression with equation (3).

$$E_s = \frac{q_0 B}{S_e} (1 - \mu_s^2) I \tag{3}$$

Subgrade modulus is derived from Equation (1). The value of the coefficient of subgrade modulus is not a constant for a given soil. Subgrade modulus is also given by Bowles (1997) in Table 1.

Table 1

Subgrade Modulus Ranges (Bowles, 1997, Table 9.1)

Soil Type	$k_s, \text{kN/m}^3$
Loose sand	4800-16000
Medium dense sand	9600-80000
Dense sand	64000-128000
Clayey medium dense sand	32000-80000
Silty medium dense sand	24000-48000
Clayey soil;	
$q_a \leq 200 \text{ kPa}$	12000-24000
$200 < q_a \leq 800 \text{ kPa}$	24000-48000
$q_a > 800 \text{ kPa}$	> 48000

7. Experimental Study

The construction site is in Ankara/TURKEY. 6 plate load tests were carried out on the construction site. Subgrade soil contains dense gravel. Clayey soil stratum is beneath the subgrade soil. Test locations are shown in Figure 3. The plate width is 450 mm. Loads increased by 6 stages as 50, 130, 220, 330, 450, 550 kPa. Plate thickness is 25 mm. Plate load test was simulated in finite element analysis (FEM) software Plaxis 2D. Plaxis 2D is a two-dimensional finite element modeling software for solving geotechnical problems. Mohr-Coulomb material model is selected for subgrade soil. This is well-known linear elastic perfectly-plastic model is used as a first approximation of soil behaviour in general. It is recommended to use this model for a first analysis of the problem considered. A constant average stiffness is estimated for the soil layer. Due to this contact stiffness, computations tend to be relatively fast and a first estimate of deformations can be obtained (Plaxis 2D Reference-Manual). Plaxis 2D model is given in Figure 4. Axisymmetry property is used for geometrical modeling. Subgrade modulus thickness is 2 m. All load stages were defined in the analysis. Settlements are read at every load stage. Test results are given in Figure 5. Ultimate bearing capacity was calculated as 550 kPa according to the plate load test. Subgrade material soil properties is given in Table 2. Field photo during plate load testing is shown in Figure 6.

Table 2

Subgrade Material Soil Properties

$\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}$	$c \text{ (kPa)}$	$\phi \text{ (}^\circ\text{)}$	$E \text{ (MPa)}$
23	10	42	149

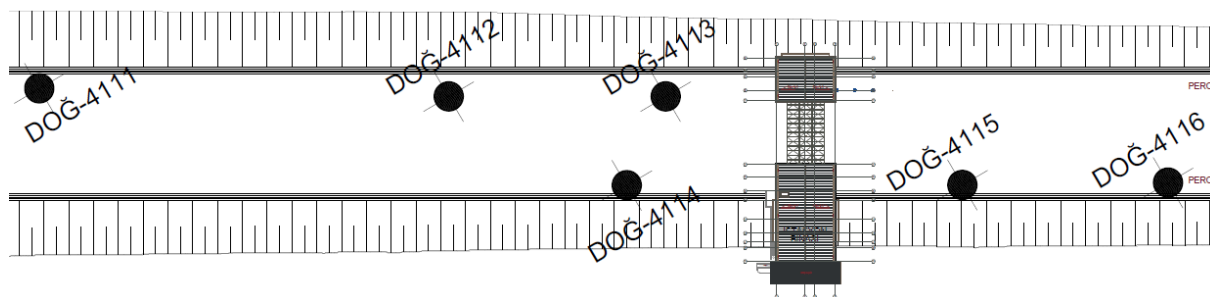


Figure 3. Plate Load Test Locations

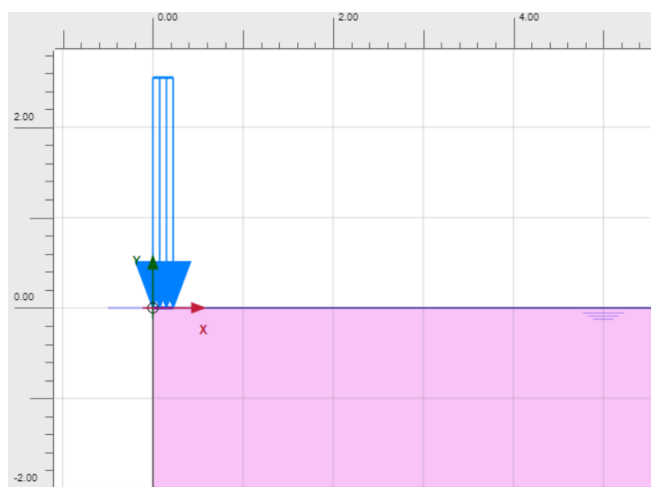


Figure 4. Plaxis 2D Model

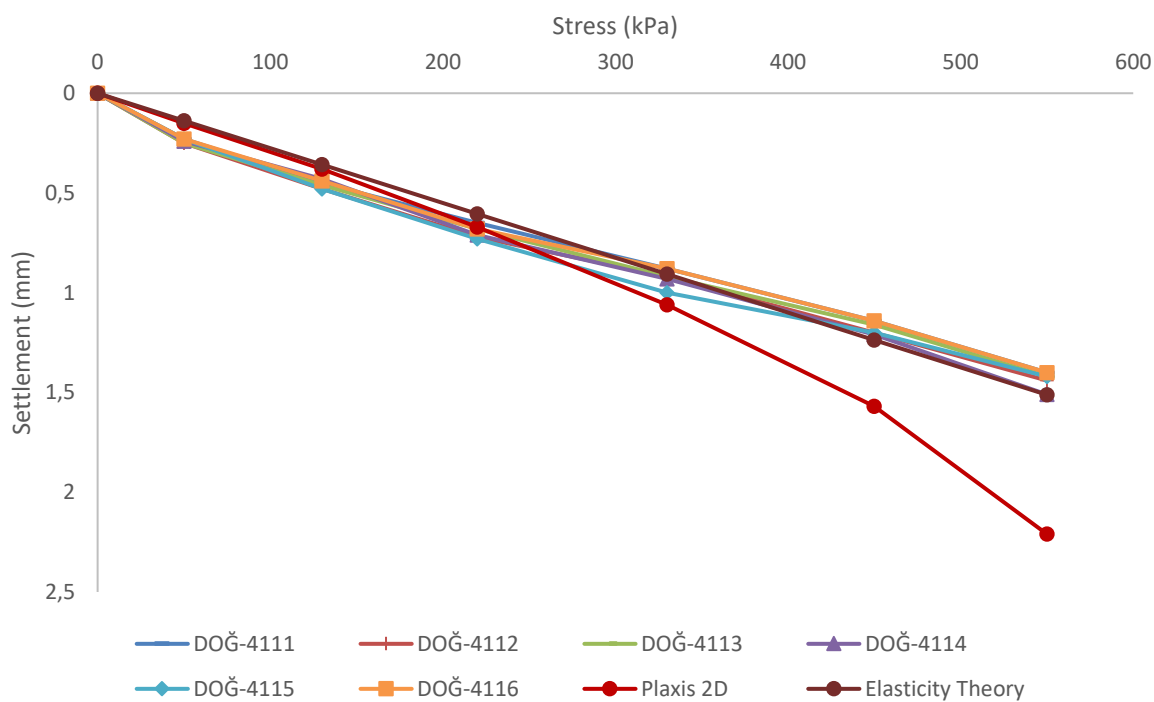


Figure 5. Load-Settlement Curve



Figure 6. During Plate Load Testing- Field Photo

8. Conclusion

Three different calculations were performed in this study. At the construction site a plate load test was carried out. Finite element analysis (FEM) was carried out with Plaxis 2D. Settlements were also calculated based on elasticity theory. A comparison of results is shown in Figure 7. Plate load test experiments and elasticity theory results are so close to each other. Finite element analysis settlement results are a little bit bigger. The maximum settlement from finite element analysis is 2,21 mm. The results of finite element analysis (FEM) are more conservative from plate load testing and elasticity theory. Calculated and observed settlement values are shown in Figure 7. Finite element analysis (FEM) result was correlated $y= 0,7329x$ and the confidence interval was determined as %97. Elasticity theory calculation results were very close as mentioned before. Calculation result was correlated $y= 0,9845x$ and the confidence interval was determined as %99. In these

correlations, “y” axis represents observed settlement and “x” axis represents calculated settlements according to finite element analysis (FEM) or elasticity theory. This study showed that, finite element analysis (FEM) and elasticity theory are strong methods to predict and calculate foundation settlements.

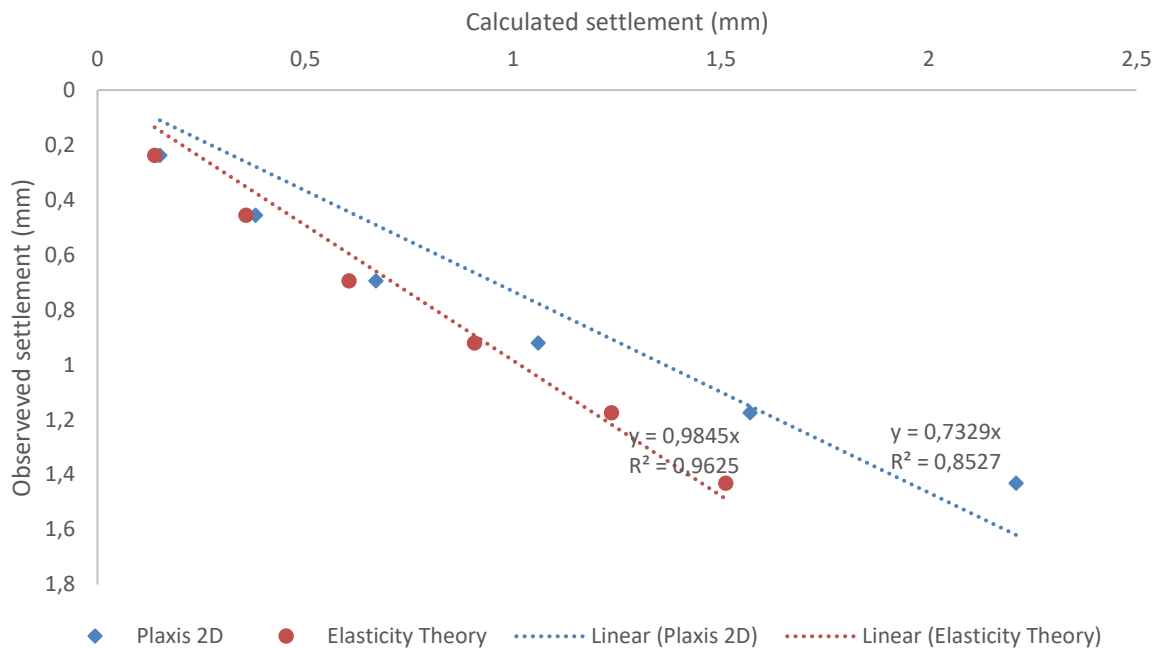


Figure 7. Comparison of Results

Acknowledgements

The author would like to acknowledge the Dogus Construction and their Kayas-Yerkoy High-Speed Railway project personals, which obtained and shared field data for this study.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the author.

References

- Agharazi, A., Martin, C.D., Tannant, D.D. (2014). Numerical Analysis of Plate Load Test Results on Fractured Rocks Using an Equivalent Continuum Model: Case Study of the Bakhtiary Dam Site, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Araujo, D.A.M., Costa, C.M.L., Costa, Y.D.J. (2017). Dimension Effect on Plate Load Test Results, 2nd World Congress on Civil Structural and Environmental Engineering (CSEE' 17), Barcelona, Spain, April.
- ASTM D 1194-94 Standard Test Method for Bearing Capacity of Soil for Static Load and Spread Footings, USA.
- Atkinson, J.H., Richardson, D. (1985). Elasticity and normality in soil-experimental examinations, *Geotechnique*, Volume 35, No 4, pp. 443-449, UK.
- Bentley (2020). Plaxis 2D-Reference Manual, October.
- Bowles, J.E. (1987). Elastic Foundation Settlements on Sand Deposits, *Journal of Geotechnical Engineering*, Volume 113, Iss 8, pp. 846-860, USA.
- Bowles, J.E. (1997). *Foundation Analysis and Design*, McGraw- Hill Book Company, New York.
- Boyle, W.J. (1992). Interpretation of plate load test data, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, Volume 29, No 2, pp. 133-141, Great Britain.
- BS 1377-9: 1990 Methods of test for soil for civil engineering purposes- Part 9: In-situ tests, UK.
- Das, B.M., Sivakugan, N. (2019). *Principles of Foundation Engineering*, Cengage Learning, USA.
- Omar, M. (2017). Field Plate Load Test to Investigate Stress Distribution in Soil Mass with and without Reinforcement- United Arab Emirates, *Jordan Journal of Civil Engineering*, Volume 11, No 4.
- Ping, W.V., Ge, L., Godwin, H., Evaluation of Pavement Layer Moduli Using Field Plate Bearing Load Test *Transportation Research Record 1501*, pp. 39-49, USA.
- Sultana, P., Dey, A.K. (2018). Estimation of Ultimate Bearing Capacity of Footings on Soft Clay from Plate Load Test Data Considering Variability, *Indian Geotechnical Society*.

Tian, W., Galaa, A. (2021). Plate Load Test on Rock with Soaking Under a Massive Raft Foundation, Innovative Infrastructure Solutions, 6:45. <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00434-4>

TS 5744: 1988, Plaka yükleme deneyi ile zemin taşıma gücünün yerinde tayini, Turkey.

Timoshenko, S., Goodier, N., (1951). Theory of Elasticity, McGraw-Hill Book Company Inc., New York

VERİ MADENCİLİĞİ İLE BETONARME KONUT BİNALARINDA DEPREM KUVVETİ ANALİZİTarkan KARAÇAY^{1*}, Tolga AÇIKGÖZ²¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-4893-5126>² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-2315-6342>

Anahtar Kelimeler	Öz
Veri madenciliği Makine öğrenmesi Deprem Deprem yönetmeliği Betonarme	<i>Bu çalışma perdesiz betonarme konut binalarına etkiyen yatay tasarım deprem yükünün veri madenciliği yöntemleri ile analiz edilmesi ve makine öğrenmesi yöntemleri ile tahminlenmesi konusundadır. Bu amaçla Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (2018) göre eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan veri seti üzerinde öznitelik seçimi, uç değerlerin tespit edilmesi ve silinmesi, boyut azaltma gibi veri madenciliği yöntemleri kullanılmış hangi yöntemlerle sonuçların nasıl değiştiği tartışılmıştır. Sonuçlar perdesiz betonarme binalara etkiyen deprem kuvvetinin yapay sinir ağları, rastgele orman ve destek vektör makinesi yöntemleri ile başarılı tahmini için kısa periyot harita spektral ivme katsayısının (S_s) ve bina toplam yüksekliğinin (H_N) gerekmediğini ortaya koymuştur.</i>

EARTHQUAKE FORCE ANALYSIS FOR REINFORCEMENT RESIDENTIAL BUILDINGS WITH DATA MINING

Keywords	Abstract		
Data mining Machine learning Earthquake Earthquake code Reinforced concrete	<i>This study is about the analysis of horizontal design earthquake loads acting on reinforced concrete residential buildings without shear walls using data mining methods and the prediction of loads using machine learning methods. For this purpose, a data set was created by using the equivalent earthquake load method according to the Building Earthquake Code of Turkey (2018). Data mining methods such as feature selection, detection and removing of outlier values, dimensionality reduction were used on the created data set, and how the results changed with which methods were discussed. The results revealed that short-period spectral acceleration coefficient taken from AFAD map (S_s) and total building height (H_N) are not required for successful prediction of earthquake force acting on reinforced concrete buildings without shear wall with artificial neural networks, random forest and support vector machine methods.</i>		
Araştırma Makalesi	Research Article		
Başvuru Tarihi	: 07.03.2022	Submission Date	: 07.03.2022
Kabul Tarihi	: 17.05.2022	Accepted Date	: 17.05.2022

1. Giriş

Türkiye'de nüfusun %86'sı 3. derece ve üstü deprem bölgesinde yaşamaktadır. Türkiye yüz ölçümünün %96'sı ve nüfusun %99'u deprem riski altındadır (Türkoğlu, 2001). Ayrıca tüm dünyada 2020 senesinde büyüklüğü 4'ün üstünde olan 13.654 deprem olmuştur (Cetinkaya, 2021). Bu ve benzeri nedenlerle deprem

konusunda araştırmalar gittikçe artmaktadır. İlgili çalışmalar devam eden paragrafta açıklanmıştır.

Contreras, Wilkinson ve James (2021) deprem sonrası hasar tespiti ve iyileştirme süreçleriyle ilgili verileri toplamak için 39 farklı araştırmayı inceleyerek derleme bir yazı oluşturmuşlardır. Geiß ve Taubenböck (2013) deprem riskinin çok sayıda bileşenin değerlendirilebilmesi için kullanılan uzaktan algılama

* Sorumlu yazar; e-posta : mail@tarkankaracay.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/>).

(remote sensing) konusunda bir derleme yazı sunmuşlardır. Yazı ilgili konudaki 251 farklı araştırmayı incelemektedir. Kahandawa, Domingo, Park ve Uma (2018) deprem hasar tahmin sistemleri üzerine bir literatür incelemesi yazmışlardır. Çalışma PACT ve SLAT isimli iki aracın karşılaştırmasını sunmaktadır. Ortega, Vasconcelos, Rodrigues, Correia ve Lourenço (2017) geleneksel mimari eserlerde hasar önleme ve güçlendirme tekniklerinin incelendiği bir literatür taraması sunmuşlardır. Çalışma çok sayıdaki geleneksel mimari yapıda uygulanan tekniklerin açıklamasını ve yazarların yorumlarını barındırmaktadır.

Veri bilimi, veri madenciliği, yapay zekâ ve makine öğrenmesi alanlarının gittikçe popülerleşmesi ile bu alanlardan yararlanılarak yapılan deprem çalışmalarının sayısı da oldukça artmıştır. İlgili çalışmalar devam eden paragrafta açıklanmıştır.

Falcone, Lima ve Martinelli (2020) yapı ve deprem mühendisliğinde yapay zekâ uygulamalarını sunan bir literatür incelemesi kaleme almışlardır. Yazıda 215 farklı araştırma incelenmiş ve açıklanmıştır. Goswami, Chakraborty, Ghosh, Chakrabarti ve Chakraborty (2018) doğal afetlerle mücadele için veri madenciliği tekniklerinin uygulanması üzerine bir literatür taraması yazmışlardır. Yazıda doğal afetlerden toplanan veriler ile tahmin, tespit ve uygun afet yönetimi stratejisi üzerine odaklanılmıştır. Ayrıca farklı veri kaynaklarından elde edilen verilerin afetlerde kullanılabilirliği tartışılmıştır. Otari ve Kulkarni (2012) 1989 ile 2011 yılları arasında yayımlanan doğal felaketlerin veri madenciliği teknikleri ile tahminlenmesi konulu 16 çalışmayı incelemektedirler. Çalışma ek olarak yazarların önerilerini ve görüşlerini içermektedir.

Yapılan literatür taraması sonucunda bu çalışmanın konusu olan tasarım deprem kuvvetlerinin veri madenciliği ya da makine öğrenmesi ile analizi konusunda herhangi bir çalışmaya ulaşılamamıştır.

Türkiye’de yapılara etkiyen deprem yükü hesabı için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (devam eden bölümlerde “yönetmelik” olarak bahsedilecektir) kullanılmaktadır. Yönetmeliğe göre perdesiz betonarme konut binalarında eşdeğer deprem yükü ile yatay tasarım deprem yükünün hesabı için 5 farklı parametrenin ilgili mühendis tarafından elde edilmesi gerekmektedir (Resmi Gazete, 2018). Bu parametreler sırası ile S_s , S_1 , m_t , H_N ve zemin sınıfıdır. Bu parametreler maddeler halinde aşağıda açıklanmıştır.

- S_s ve S_1 Türkiye Deprem Tehlike Haritası’ndan elde edilebilen değerlerdir. S_s kısa periyot harita spektral ivme katsayısıdır. S_1 1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısıdır (Bozer, 2020).
- m_t toplam bina kütesidir.

- H_N yönetmelikte madde 3.3.1.3’te açıklanan bina yüksekliğidir (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018).
- Zemin sınıfı yönetmelikte ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olarak sınıflandırılmış parametredir. ZA en iyi zemin sınıfını, ZE en kötü zemin sınıfını belirtir. ZF ise sahaya özel araştırma ve değerlendirme yapılmasını gerektiren zemin sınıfıdır (Aksoylu ve Arslan, 2019).

Yukarıdaki maddelerde açıklanan 5 parametre belirlendikten sonra yönetmelikte açıklanan formüller ve matematiksel yaklaşımlar kullanılarak eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yatay tasarım deprem yükü bulunabilmektedir. Fakat yönetmeliğe göre bu 5 parametrenin tamamının bilinmesi halinde deprem kuvveti hesaplanabilmektedir. Bu nedenle aşağıdaki araştırma soruları ortaya çıkmıştır.

- Perdesiz betonarme konut binalarına etkiyen yatay tasarım deprem yükü için ilgili 5 parametreden tamamı kullanılmadan deprem yükleri başarılı bir şekilde tahminlenebilir mi?
- Parametrelerden kaç tanesi ve hangileri kullanılmadan yatay deprem yükleri başarılı bir şekilde tahminlenebilir?
- İlgili tahminlemeler için makine öğrenmesi yöntemleri kullanılabilir mi?

Yukarıdaki araştırma sorularını cevaplayabilmek adına bu çalışma ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında öncelikle bir veri seti oluşturulmuş, ardından veri seti üzerinde çeşitli veri madenciliği yöntemleri kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Çalışmada 2. bölümde veri setinin oluşturulma aşamaları anlatılmıştır. Bölüm 3’te metodoloji, yapılan denemeler ve elde edilen sayısal değerler sunulmaktadır. Bölüm 4’te elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Bölüm 5 çalışma kapsamında neden perdesiz betonarme konut binaları özelinde araştırma yapıldığını ve çalışmanın gelecekte nasıl genişletilebileceği hakkında yazarların yorumlarını içermektedir.

2. Veri Setinin Oluşturulması

Perdesiz betonarme konut binalarında deprem kuvvet hesabı için oluşturulan veri setinin oluşturulma aşamaları bu bölümde, aşağıdaki alt başlıklarda özetlenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan veri seti Wolfram Mathematica ile bu adımlara göre oluşturulmuştur. Veri seti çevrim içi paylaşım platformu olan kaggle.com üzerinde yayınlanmıştır (Karaçay, 2022a).

2.1. Harita Spektral İvme Katsayıları Değerlerinin Elde Edilmesi

S_s ve S_1 harita spektral ivme katsayıları Türkiye'deki enlem ve boylam değerlerine göre belirlenmiş ve Resmi Gazete'de tablo halinde paylaşılmıştır. İlgili tablo çalışmayı okuyanlar tarafından istenildiği takdirde kolayca indirilebilmesi için çevrim içi olarak paylaşılmıştır (Karaçay, 2022b).

Veri setinin oluşturulması için tablodan rastgele enlem ve boylam koordinatları seçilmiştir (Mathematica Random fonksiyonu ile). Seçilen koordinatlardaki S_s ve S_1 değerleri kullanılarak veri setinin oluşturulmasına devam edilmiştir.

2.2. Bina Yüksekliği, Ağırlığı ve Zemin Sınıfının Belirlenmesi

Konut bina iç yükseklikleri Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği kapsamında en az 2.60 metre olmalıdır (Resmi Gazete, 2017). Bu sayıya göre kat yüksekliği yaklaşık olarak en az 2.80 metre kabul edilebilir. Uygulamada ise zaman zaman kat yükseklikleri 3 metre tercih edilmektedir. Veri seti oluşturulurken 2.80 metreden 16.80 metreye kadar 2.80 metre ve 3 metrenin katları seçilerek toplam bina yüksekliği belirlenmiştir. Diğer bir söylemle 2.80 ve 3.00 değerleri rastgele belirlenen kat sayıları ile çarpılarak bina toplam yüksekliği belirlenmiştir. Ayrıca her bir katın alanının 100 ile 600 m² aralığında rastgele değiştiği ve m² başına 1 tonluk düşey yük olduğu kabul edilerek bina toplam kütlesi hesaplanmıştır.

Zemin sınıfı değerleri ZA, ZB, ZC, ZD, ZE kategorilerinden rastgele seçilerek oluşturulmuştur.

2.3. Deprem Kuvveti Değerlerinin Hesaplanması

Bölüm 2.1 ve 2.2'de anlatılan şekilde S_s , S_1 , bina yüksekliği (H_N), bina toplam kütlesi m_t ve zemin sınıfı belirlendikten sonra yönetmeliğe uygun şekilde perdesiz, betonarme konut binaları için tasarım deprem kuvvetleri hesaplanarak veri setine eklenmiştir. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin sınıfı (F_s) ve 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki sınıfı (F_1) için yönetmelikteki tablolarda bulunmayan ara değerler 1. dereceden interpolasyon yapılarak belirlenmiştir. Bina doğal hakim titreşim periyodu yönetmelikteki ampirik formül $T_{pA} = C_t H_N^{3/4}$ ile hesaplanmıştır.

2.4. Oluşturulan Veri Setinin Özellikleri

Veri seti 100.000 satırdan ve 6 öznitelikten oluşmaktadır. Oluşturulan veri setinin özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulmuştur. Oluşturulan veri setinden bir kesit Tablo 3'tedir. Veri setinde VtE tasarım deprem kuvvetinin kısaltması olup hedef (çıkıtı) özniteliktir.

Tablo 1

Veri Setinin Özellikleri

Öznitelikler	En Küçük	Ortalama	En büyük	Standart Sapma
S_s	0.134	0.647	2.005	0.329
S_1	0.047	0.179	0.536	0.083
m_t	100	1142.686	3600	767.534
H_N	2.800	9.430	16.800	4.567
VtE	22.233	725.459	5553.776	630.424

Tablo 2

Veri Setindeki Zemin Sınıfı Özniteliğinin Dağılımı

Zemin Sınıfı	ZA	ZB	ZC	ZD	ZE
Veri Sayısı	20014	20177	19721	20119	19952

Tablo 3

Veri Setinden Kesit

ss	s1	mt	hN	zeminSınıfı	vtE
0.575	0.135	1388	11.2	ZC	562.771
0.603	0.159	508	11.2	ZB	129.380
0.394	0.106	513	2.8	ZA	225.795
0.904	0.224	2155	15	ZD	1670.705
0.448	0.126	678	5.6	ZB	230.134

3. Metodoloji

Çalışmada izlenen metodoloji bu bölümde ve devam eden alt başlıklarda adım adım anlatılmıştır. İzlenen metodolojide açıklanan adımlar Orange Data Mining ve Weka isimli programlar ile gerçekleştirilmiştir (Demşar ve diğ., 2013; Hall ve diğ., 2009).

3.1. Veri Ön İşleme Süreci

3.1.1. Tekrar Eden Verilerin Silinmesi, Eğitim - Test Verilerinin Ayrılması

Oluşturulan veri seti yönetmeliğin istediği girdilerin rastgele seçilmesinden (yönetmeliğe uygun şekilde) olduğu için tekrar eden veri olup olmadığının incelenmesi gereklidir. Yapılan kontrol ile verideki 17 tane satırın birbirinin tamamen aynısı olduğu fark edilmiştir. Bu satırlar veri setinden silinmiştir. Böylece veri setinde 99.983 satır kalmıştır.

Makine öğrenmesi yöntemlerinin eğitimi ve testi için oluşturulan verinin ayrılması gerekmektedir. Eğitim ve test verilerinin ayrılması için farklı yüzdeler kullanılabilir. Sıklıkla kullanılan yaklaşım verinin %70 eğitim - %30 test veya %80 eğitim - %20 test şeklinde ayrılmasıdır (Akhgar, Toghraie, Sina ve Afrand, 2019; Alakus ve Turkoglu, 2020; Kadam ve

Vijayumar, 2018; Mia ve Dhar, 2016; Mothilal, Sharma ve Tan, 2020; Wei ve diğ., 2019; Yuan, Jiao, Quddus, Kwon ve Mashuga, 2019).

Bu çalışmada eğitim verisinin büyük olması ile daha başarılı makine öğrenmesi modelleri elde edilebileceği öngörülmüş ve oluşturulan veri seti %80 eğitim - %20 test olarak ayrılmıştır. Test veri seti tamamen rastgele seçilmiştir ve içerisinde eğitim veri setinden veri bulundurmamaktadır.

3.1.2. Verinin Anlaşılması

Verideki her bir öznelikliğin birbiri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler çizilmiş ve incelenmiştir. Bu grafikler yazının okunaklı olması için verilmemiş olup bunun yerine korelasyon matrisi (Şekil 1) gösterilmiştir.

	S_s	S_1	m_t	H_N	ZA	ZB	ZC	ZD	ZE
S_s	1	0.97	0	0	0	0	0	0	0
S_1		1	0	0	0	0	0	0	0
m_t			1	0.73	0	0.01	0	0	0
H_N				1	0	0	0	0	0
ZA					1	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25
ZB						1	-0.25	-0.25	-0.25
ZC							1	-0.25	-0.25
ZD								1	-0.25
ZE									1

Şekil 1. Öznelikler Arası Korelasyon Matrisi

Korelasyon matrisi değişkenler arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü belirtir. Korelasyon matrisindeki değerler -1 ile 1 arasında değişir. Değerlerin pozitif olması iki değişkenin değerlerinin birlikte arttığını, negatif olması değişkenlerden birinin değeri artarken diğerinin azaldığını gösterir. Değerler 1'e yaklaştıkça iki değişken arasındaki pozitif ilişkinin miktarının arttığı yorumu yapılabilir. Değerlerin -1'e yaklaşması negatif ilişkinin miktarının artması şeklinde yorumlanabilir. Değerlerin 0 ya da 0'a yakın olması iki değişken arasında ilişki olmadığı şeklinde yorumlanmalıdır (Wikipedia, 2022a, 2022b).

Korelasyon matrisinden görüldüğü üzere S_s ve S_1 arasında %97 korelasyon olduğu görülmektedir. Ayrıca m_t ile H_N arasında %73 korelasyon vardır. Buradan S_s ile S_1 değerlerinin ve m_t ile H_N değerlerinin birlikte arttığı yorumu yapılmalıdır. Diğer bir söylemle veri seti içerisindeki öznelikler olan S_s ile S_1 arasında ve m_t ile H_N arasında güçlü ve pozitif bir ilişki vardır.

3.1.3. Kategorik Verilerin Sayısala Dönüştürülmesi ve Normalizasyon

Verideki zemin sınıfı değerleri kategorik verilerdir. Kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları ise sayısal veriler ile çalışmaktadır. Bu nedenle kategorik veriler

one hot encoding (yöntemin Türkçe karşılığı bulunamamıştır) ile 0 ve 1 değerlerine çevrilmiştir. Kategorik verilerin 0 ve 1 değerlerine çevrildiği haldeki veri setinin görünümü Tablo 4'tedir.

Tablo 4

Veri Setinden Kesit (One Hot Encoding Uygulandıktan Sonra)

ss	s1	mt	hN	ZA	ZB	ZC	ZD	ZE	vtE
0.575	0.135	1388	11.2	0	0	1	0	0	562.771
0.603	0.159	508	11.2	0	1	0	0	0	129.380
0.394	0.106	513	2.8	1	0	0	0	0	225.795
0.904	0.224	2155	15	0	0	0	1	0	1670.705
0.448	0.126	678	5.6	0	1	0	0	0	230.134

Standardizasyon bir veri setindeki tüm sayısal değerlerin ortalamasının 0, standart sapmasının 1 olacak şekilde dönüştürülmesi işlemidir. Normalizasyon ise tüm sayısal değerlerin belirli bir aralıktaki sayısal değerlere dönüştürülmesi işlemidir. En sık kullanılan normalizasyon yöntemleri tüm verilerin -1 ile 1 arasındaki sayılara dönüştürülmesi veya 0 ile 1 arasındaki sayılara dönüştürülmesidir (Ali ve Faraj, 2014). Makine öğrenmesi algoritmalarında standardizasyon ve normalizasyon çoğunlukla ön işlem adımı olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni bazı makine öğrenmesi algoritmalarının değişken ölçeklerde bulunan verilere karşı duyarlı olması ve bu işlemler uygulanmadığında iyi performans göstermemesidir.

Yapılan testler göstermiştir ki bu veri seti üzerinde yapılacak makine öğrenmesi yöntemlerinde standardizasyon ve [-1,1] normalizasyonu iyi sonuçlar vermemektedir. İlgili sonuçlar Tablo 5'te görülmektedir. Tabloda veri setindeki tüm öznelikler kullanılarak yapılan tahminlerde veriye uygulanan standardizasyon, [-1,1] normalizasyonu ve [0,1] normalizasyonuna göre elde edilen hataların değişimi görülmektedir. Tabloda belirtilen hata ölçümü için kök ortalama kare hatası (root mean square error) kullanılmıştır. Bu hata metriği konusundaki açıklamalar Bölüm 3.2.1'de yapılmıştır.

Tablo 5

Standardizasyon ve Normalizasyon Yöntemlerine Göre Tahmin Hatasının Değişimi

Yöntem	Standar-dizasyon	Normalizasyon [-1,1]	Normalizasyon [0,1]
Destek Vektör Makinesi	140.178	138.697	134.962
Rastgele Orman	21.474	21.470	21.476
Yapay Sinir Ağları	16.337	14.427	13.774

Tablo 5'te görüldüğü üzere rastgele orman yönteminin algoritmanın kendisine haz özelliklerinden kaynaklı olarak verilerin sayısal büyüklüğünden etkilenmemesi sebebi ile sonuçlarda neredeyse hiç değişiklik olmamıştır. Destek vektör makinesi ve yapay sinir ağları ile en iyi performans ise veriler 0 ile 1 arasına normalize edildiğinde alınmıştır. Bu nedenle çalışmanın devamında açıklanan yöntemlerde veriler 0 ile 1 arasına normalize edilmiştir. [0,1] normalizasyonu için veriye uygulanan fonksiyon Denklem (1)'de görülmektedir. Denklemde z_i herhangi bir öznitelikteki i 'nci sayısal değer normalize edilmiş hali, x_i aynı öznitelikteki i 'nci değeri, $\min(x)$ ve $\max(x)$ ise ilgili öznitelikteki en küçük ve en büyük değerlerdir.

$$z_i = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (1)$$

3.1.4. Uç Değerlerin Tespiti ve Silinmesi

Eliptik sarmal (elliptic envelope) yöntemi ile uç değer tespiti gauss dağılımından yararlanılarak yapılan uç değer tespit yöntemidir (Azimi, Azhdary Moghaddam ve Hashemi Monfared, 2018). Yöntemde verinin uzaydaki şekli tanımlanmakta ve gauss dağılımına göre verinin dağılımı belirlenmektedir. Genel dağılım eliptik bir şekille sarmalanmaktadır. Sarmalın dışında kalan değerler uç değer kabul edilmektedir. Bu yöntem ile eğitim verisinden %2, %5 ve %10'luk kısımdaki uç değer veriler silinerek eğitilen makine öğrenmesi modellerinde (Bölüm 3.2'de ilgili yöntemler açıklanmıştır) görülmüştür ki: uç değerlerin silinmesi sonucunda test başarısı ciddi oranda düşmüştür. İlgili detaylar Tablo 6'da görülmektedir. Tablodaki yüzdeler eğitim verisinden uç değerlerin % kaçlık kısmının silindiğini göstermektedir. Tablodaki %0 yazan ifade hiçbir uç değer silinmediğini diğer söylemlerle eğitim verisinin aynen kullanıldığını göstermektedir. Tabloda belirtilen hata ölçümü için kök ortalama kare hatası (root mean square error) kullanılmıştır. Bu hata metriği konusundaki açıklamalar Bölüm 3.2.1'de yapılmıştır.

Uç değerlerin silinmesi sonucu test başarı oranlarının ciddi oranda düşmesinin nedeninin şu olduğu düşünülmektedir: Veri setindeki uç değerler aykırı veriler değildir. Bir diğer deyişle uç değerler hatalı, yanlış veya verinin yapısından büyük ölçüde farklılıklar gösteren veriler değildir. Bu nedenle çalışmada ele alınan makine öğrenmesi yöntemlerinin uç değerlerle daha iyi performans göstermesi muhtemeldir.

Eğitim verisi içerisindeki uç değerlerin silinmesinin test başarısını ciddi oranda düşürmesinin sonucunda bu başarısız işlem iptal edilmiş ve uç değerler silinmeden sonraki adıma geçilmiştir.

Tablo 6

Silinen Uç Değerlere Göre Tahmin Hatasının Değişimi

Yöntem	%0	%2	%5	%10
Destek Vektör Makinesi	134.962	606.109	618.327	630.628
Rastgele Orman	21.476	582.617	587.561	589.221
Yapay Sinir Ağları	13.774	573.135	572.598	573.495

3.1.5. Boyut Azaltma ile Özniteliklerin Birleştirilmesi

Bölüm 3.1.2'den görüldüğü üzere m_t ile H_N arasında %73 korelasyon vardır. Bu iki öznitelik temel bileşenler analizi (principal component analysis: PCA) ile varyansın %86'sı korunacak şekilde birleştirilerek yeni bir öznitelik oluşturulmuş ve veri setine eklenmiştir. Veri setinden m_t ve H_N öznitelikleri silinmiştir. Sonrasında makine öğrenmesi modelleri eğitilmiştir. Eğitilen modellerin test başarı oranları ciddi oranda düşmüştür. İlgili sayısal değerler Tablo 7'de görülmektedir. Test başarılarının düşmesinin temel nedenlerinin aşağıdaki maddeler olduğu düşünülmektedir:

- Temel bileşenler analizi iki özniteliği uzayda doğrusal olarak birleştirmektedir. Bu nedenle oluşturulan öznitelik, birleştirilen özniteliklerdeki tüm bilgiyi saklayamamaktadır. Varyansın bir kısmı kaybolmaktadır.
- Temel bileşenler analizi yöntemi, çıktı özniteliklerini hesaba katmayan bir algoritmadır. Sadece girdi öznitelikleri arasındaki ilişkiye göre uygulanan bir yöntemdir. Bu nedenle model performansını kötü etkileyen öznitelikler üretilebilmektedir.

Temel bileşenler analizi uygulandıktan sonra test başarı oranlarının düşmesi nedeniyle yapılan işlemler geri

alınmıştır. Birleştirilerek oluşturulan öznitelik silinmiş, m_t ve H_N öznitelikleri veri setine tekrar eklenmiştir.

Tablo 7

Temel Bileşenler Analizi ile Model Performansı

Yöntem	PCA	
	Kullanıldığında	Kullanılmadığında
Destek Vektör Makinesi	299.857	134.962
Rastgele Orman	225.220	21.476
Yapay Sinir Ağları	266.693	13.774

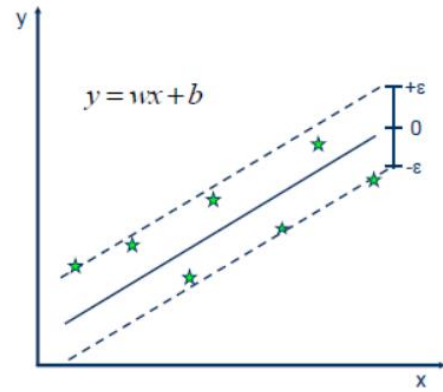
3.2. Öznitelik Seçimi (Feature Selection)

Öznitelik seçimi için bir kaba kuvvet yöntemi olan etraflı arama (exhaustive search) kullanılmıştır. Bu yöntemde amaç giriş özniteliklerinin olası tüm kombinasyonlarını denemek ve en iyi sonucu ya da sonuçları veren öznitelik alt kümesini belirlemektir. Bu çalışmada 5 girdi özniteliği olduğu için $2^5-1=31$ (formüldeki -1, hiçbir özniteliğin seçilmediği durumdan gelmektedir) tane makine öğrenmesi modeli eğitilerek öznitelik seçimi yapılmıştır. Öznitelik seçimi için kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri destek vektör makinesi, rastgele orman ve yapay sinir ağlarıdır.

3.2.1. Destek Vektör Makinesi ile Öznitelik Seçimi

Destek vektör makinesi (DVM) çoğunlukla sınıflandırma için kullanılan bir algoritma olsa da regresyon için de kullanılmaktadır. Regresyon ve sınıflandırma için algoritmanın çalışma biçiminde ufak farklılıklar olsa da temel amaç aynıdır. Amaç, hatayı en aza indiren marjin çizgisinin bulunmasıdır. İlgili çizim Şekil 2'de görülmektedir.

Bu çalışmada DVM eğitimi için RBF çekirdek (kernel) kullanılmış ve tüm hiperparametreler optimize edilmiştir.



Şekil 2. Destek Vektör Makinesi Regresyonu (Sayad, t.y.)

Özniteliklerin seçilen tüm kombinasyonu ve ilgili kombinasyona göre elde edilen başarı oranları çalışmanın okunaklı olması için verilmemiştir. Bunun yerine her bir öznitelik sayısı ile en az hata oranının elde edildiği denemeler ve ilgili denemede hangi özniteliğin ya da özniteliklerin kullanıldığı gösterilmiştir. Örneğin 1 özniteliğin girdi olarak kullanıldığı 5 model eğitimi ve testi vardır (Sadece S_s , sadece S_1 , sadece m_t , sadece H_N , sadece zemin sınıfının girdi olarak kullanıldığı durum). Bu modellerden hata oranı en az olanda zemin sınıfı girdi olarak kullanıldı ise sadece buna ait bilgiler verilmiş; Tablo 8, 9 ve 10'da gösterilmiştir.

DVM ile elde edilen sonuçlar Tablo 8'de görülmektedir. Tabloda "1" yazan hücreler ilgili özniteliğin girdi olarak kullanıldığını "0" ise kullanılmadığını göstermektedir. Tablodaki RMSE, Root Mean Square Error'un (kök ortalama kare hatası) kısaltmasıdır. RMSE farklı bilim dallarında veri madenciliği, makine öğrenmesi, derin öğrenme gibi uygulamalarda sayısal verilerin tahminlenme başarısını ölçme amaçlı olarak sıklıkla kullanılan bir metriktir (Bartholomai ve Frieboes, 2018; Bostan, Heuvelink ve Akyurek, 2012; Cao, Kim, Hwang ve Jung, 2018; Chniti, Bakir ve Zaher, 2017; Parbat ve Chakraborty, 2020; Pham, Son, Hoang, Nguyen ve Tien Bui, 2018; Rossel ve Behrens, 2010) Bu nedenle bu çalışmada RMSE metriği ile sonuçlar yorumlanmıştır. RMSE'nin düşük olması ile yapılan tahminlerin iyi olduğu, yüksek olması ile tahminlerin kötü olduğu anlaşılmalıdır. Tablo 8'de R^2 (R^2) determinasyon katsayısıdır (Coefficient of Determination). Determinasyon katsayısı gerçek sayısal değer ile tahmin edilen sayısal değer arasındaki yaklaşıklıkla bağlı bir metriktir. Determinasyon katsayısının 1'e yaklaşması ile yapılan tahminin başarılı olduğu, 0'a yaklaşması ile yapılan tahminin başarısız olduğu anlaşılmalıdır.

Tablo 8

DVM ile Öznitelik Seçimi

Öznitelik Sayısı	S_s	S_1	m_t	H_N	Zemin Sınıfı	RMSE	R2
1	0	0	0	0	1	536.259	0.289
2	0	0	1	0	1	356.462	0.686
3	0	1	1	0	1	190.242	0.911
4	0	1	1	1	1	125.015	0.961
5	1	1	1	1	1	134.962	0.955

Tablo 8'den görüldüğü üzere 4 özniteliğin girdi olarak kullanılması ile 5 öznitelige göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum bu algoritma ile bu veri setinde H_N özniteliğinin kullanılmasının gereksiz olduğunu hatta kullanılmaması gerektiğini göstermektedir. Buna ek olarak S_s özniteliğinin de kullanılmaması ile iyi başarı oranları elde edilmiştir. S_1 , m_t , zemin sınıfı özniteliklerinin kullanılması ile gerçek dünyaya uygulanabilir olduğu düşünülen sonuçlar elde edilebilmektedir.

3.2.2. Rastgele Orman ile Öznitelik Seçimi

Rastgele orman çok sayıda karar ağacının doğru şekilde birleştirilmesi ile oluşan bir algoritmadır. Hem regresyon hem de sınıflandırma için kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında rastgele orman ile xgboost (Chen ve Guestrin, 2016) kullanılmıştır. Xgboost, gradyan destekli olarak hata fonksiyonunu minimize etmeye yarayan bir tekniktir. Bu çalışmada kullanılan rastgele orman 500 karar ağacından oluşmaktadır.

Rastgele orman kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 9'da görülmektedir. Görüldüğü üzere 4 öznitelik ile eğitilen modellerin test sonuçları 5 öznitelik ile eğitilenlere çok yakındır. Bu sonuçlar bu algoritma ile H_N özniteliğinin kullanılmasının (gerçek değerlere çok yakın sonuçlar gerekmedikçe) gereksiz olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak S_s özniteliğinin de kullanılmaması ile iyi başarı oranları elde edilmiştir. S_1 , m_t , zemin sınıfı özniteliklerinin kullanılması ile gerçek dünyaya uygulanabilir sonuçların elde edilebildiği düşünülmektedir.

Tablo 9

Rastgele Orman ile Öznitelik Seçimi

Öznitelik Sayısı	S_s	S_1	m_t	H_N	Zemin Sınıfı	RMSE	R2
1	0	0	0	0	1	520.125	0.331
2	0	0	1	0	1	344.35	0.707
3	0	1	1	0	1	133.848	0.956
4	0	1	1	1	1	27.290	0.998
5	1	1	1	1	1	21.476	0.999

3.2.3. Yapay Sinir Ağları ile Öznitelik Seçimi

Yapay sinir ağları insanın sinirsel yapısından esinlenilerek oluşturulmuş yapılardır. $ax+b$ şeklindeki doğrusal fonksiyonların aktivasyon fonksiyonları yardımı ile değiştirilmesi sonucu optimum çözüme yakınsamaya çalışırlar. Günümüzde yapay sinir ağları eğitimi için çoğunlukla geri besleme algoritması kullanılır. Geri besleme algoritması türevden yararlanılarak hatanın azaltılması ve ağ ağırlıklarının optimize edilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada kullanılan yapay sinir ağında 1 gizli katman vardır. Gizli katmanda 100 nöron bulunmaktadır. Ağda ReLu aktivasyon fonksiyonu ve Adam optimizasyon algoritması kullanılmıştır.

Yapay sinir ağları kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 10'da görülmektedir. Tablodan görüldüğü üzere 4 öznitelik ile eğitilen modellerin test sonuçları 5 öznitelik ile eğitilenlere çok yakındır. Bu sonuçlar bu algoritma ile H_N özniteliğinin kullanılmasının (gerçek değerlere çok yakın sonuçlar gerekmedikçe) gereksiz olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak S_s özniteliğinin de kullanılmaması ile iyi başarı oranları elde edilmiştir. S_1 , m_t , zemin sınıfı özniteliklerinin kullanılması ile gerçek dünyaya uygulanabilir sonuçların elde edilebildiği düşünülmektedir.

Tablo 10

Yapay Sinir Ağları ile Öznitelik Seçimi

Öznitelik Sayısı	S_s	S_1	m_t	H_N	Zemin Sınıfı	RMSE	R2
1	0	0	0	0	1	520.141	0.331
2	0	0	1	0	1	344.987	0.706
3	0	1	1	0	1	144.935	0.948
4	0	1	1	1	1	23.391	0.998
5	1	1	1	1	1	13.774	0.999

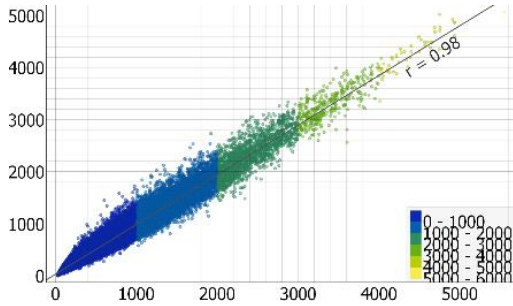
3.3. Seçilen Özniteliklerin Değerlendirilmesi

DVM ile yapılan öznitelik seçiminde 4 öznitelik ile 5 öznitelige göre daha iyi sonuçlar alınmıştır. H_N özniteliğinin sonuçları kötü etkilediği görülmüştür. Rastgele orman ve yapay sinir ağı ile yapılan uygulamalarda tüm özniteliklerin kullanıldığı denemelerde diğer denemelere göre daha iyi sonuçlar alınmıştır. Fakat 4 öznitelik ile alınan sonuçlar tüm özniteliklerin kullanıldığında alınan sonuçlara çok yakındır. Bu nedenle bu algoritmalarda da H_N özniteliğinin kullanılmamasında bir yanlışlık olmadığı söylenebilir.

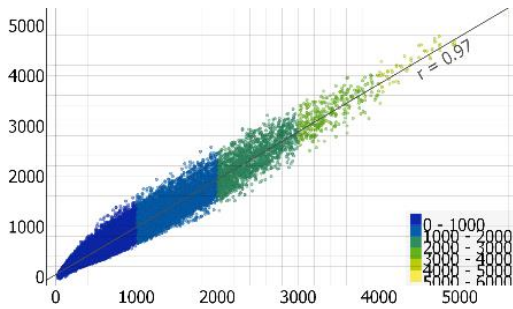
Ayrıca H_N ve S_s özniteliklerinin ikisinin de kullanılmadığı uygulamalarda gerçek dünyaya uygulanabilir sonuçların alındığı düşünülmektedir. Bu nedenle gerçek değerlerle bire bir aynı sayılabilecek veya çok yakın tahminlerin elde edilmesi gerekmedikçe

bu çalışmada ele alınan makine öğrenmesi metotları ile H_N ve S_S özniteliklerinin kullanılmasına gerek olmadığı yorumu yapılabilir.

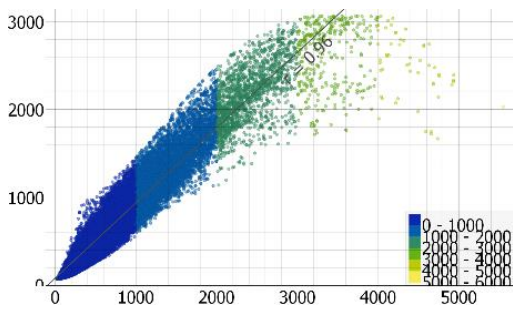
Şekil 3, 4 ve 5 S_1 , m_t ve zemin sınıfı özniteliklerinin kullanıldığı durumlardaki makine öğrenmesi modellerinin tahmin başarısını göstermektedir. Şekillerde yatay eksenler gerçek deprem kuvveti değerlerini, dikey eksenler model tahminlerini göstermektedir.



Şekil 3. Rastgele Orman Modelinin Tahmin Başarısı



Şekil 4. Yapay Sinir Ağı Modelinin Tahmin Başarısı



Şekil 5. DVM Modelinin Tahmin Başarısı

4. Sonuç

Yapılan literatür taraması sonucunda veri madenciliği, veri bilimi, makine öğrenmesi ve deprem konularında birçok çalışma olduğu görülmüştür. Fakat bu çalışmalarda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin tasarım deprem kuvveti hesabı için istediği girdilerden kaçına ve hangilerine gerek kalmaksızın tasarım deprem kuvvetlerinin elde edilebileceğine veya yaklaşık olarak hesap tahmini yapılabileceğine dair hususlar ele alınmamıştır. Bu nedenle bu çalışma yönetmelik

koşullarının gerekliliğini veri madenciliği, veri bilimi ve makine öğrenmesi perspektifinde tartışmaya açması bakımından literatüre yenilik getirmektedir.

Yapılan farklı denemeler sonucunda makine öğrenmesi tekniklerinin perdesiz, betonarme konut binalarına gelen deprem kuvvetinin tahminlenmesi için kullanışlı araç kutuları olduğu sonucuna varılmıştır. Ortaya çıkan diğer sonuçlar şunlardır:

- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin tasarım deprem kuvvetlerinin hesabı için şart koştuğu S_S ve H_N öznitelikleri kullanılmadan tasarım deprem kuvvetleri destek vektör makinesi yöntemi ile $RMSE = 190.242$ ve $R^2 = 0.911$, rastgele orman ile $RMSE = 133.848$ ve $R^2 = 0.956$, yapay sinir ağı ile $RMSE = 144.935$ ve $R^2 = 0.948$ olacak şekilde başarıyla tahminlenebilmiştir.
- Bu çalışmada kullanılan eğitim veri seti üzerinde uç değerlerin silinmesi ile test başarıları düşmüştür. Diğer bir söylemle uç değer verilerin model eğitimi zorlaştırmadığı hatta iyi yönde etkilediği sonucuna varılabilir.
- Temel bileşenler analizi (PCA) tekniği ile veri setindeki m_t ve H_N özniteliklerinin birleştirilerek yeni öznitelik oluşturulduğu denemelerde m_t ve H_N veri setinden silinmiştir. Fakat bu durumda çalışmada ele alınan makine öğrenmesi modellerinin test başarısında ciddi düşüş olmuştur.

Tüm bilim dallarında geçerli olmak üzere; bu zamana kadar yapılan kabuller gözden geçirilmek istendiğinde veya yeni teoriler ortaya konmaya çalışıldığında veri madenciliği yöntemlerinden yararlanılabilir. Veri madenciliği veri içerisindeki saklı bilgileri ortaya çıkarmanın güçlü ve kullanışlı bir yoludur.

5. Gelecekteki Çalışmalar

Bu çalışmada perdesiz betonarme konut binaları özelinde çalışılmıştır. Bunun nedeni yazarlar tarafından Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ndeki Tablo 3.1 ve Tablo 4.1'deki tüm maddeleri kapsayacak veri setini oluşturmak için gereken kodu yazmanın çok uzun süreceğinin öngörülmesidir. Dilerse başka araştırmacılar bu çalışmanın kapsamını ilgili tablolardaki diğer maddeleri kapsayacak şekilde genişletebilirler.

Araştırmacıların Katkısı

Çalışmada Tarkan KARAÇAY veri setinin oluşturulması, literatür taramasının yapılması, sonuçların elde edilmesi ve değerlendirilmesi konularında katkı sağlamıştır. Tolga AÇIKGÖZ makalenin genel kontrollerinin ve düzenlemelerinin yapılması,

çalışmanın gidişatının yönetilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Akhgar, A., Toghraie, D., Sina, N. ve Afrand, M. (2019). Developing dissimilar artificial neural networks (ANNs) to prediction the thermal conductivity of MWCNT-TiO₂/Water-ethylene glycol hybrid nanofluid. *Powder Technology*, 355, 602–610. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.07.086>
- Aksoylu, C. ve Arslan, M. H. (2019). Çerçeve+Perde Türü Betonarme Binaların Periyod Hesaplarının Tbdy-2019 Yönetmeliğine Göre Ampirik Olarak Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(3), 365–382. doi: <https://doi.org/10.17482/uumfd.603437>
- Alakus, T. B. ve Turkoglu, I. (2020). Comparison of deep learning approaches to predict COVID-19 infection. *Chaos, Solitons & Fractals*, 140. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110120>
- Ali, P. J. M. ve Faraj, R. H. (2014). Data Normalization and Standardization: A Technical Report. In *Machine Learning Technical Reports* (Vol. 1). doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28948.04489>
- Azimi, S., Azhdary Moghaddam, M. ve Hashemi Monfared, S. A. (2018). Anomaly Detection and Reliability Analysis of Groundwater by Crude Monte Carlo and Importance Sampling Approaches. *Water Resources Management*, 32(14), 4447–4467. doi: <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2029-y>
- Bartholomai, J. A. ve Frieboes, H. B. (2018). Lung Cancer Survival Prediction via Machine Learning Regression, Classification, and Statistical Techniques. *2018 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT)*, 632–637. IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/ISSPIT.2018.8642753>
- Bostan, P. A., Heuvelink, G. B. M. ve Akyurek, S. Z. (2012). Comparison of regression and kriging techniques for mapping the average annual precipitation of Turkey. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19, 115–126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.04.010>
- Bozer, A. (2020). Tasarım Spektral İvme Katsayılarının DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırması. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 11(1), 393–404. doi: <https://doi.org/10.24012/dumf.559965>
- Cao, K., Kim, H., Hwang, C. ve Jung, H. (2018). CNN-LSTM Coupled Model for Prediction of Waterworks Operation Data. *Journal of Information Processing Systems*, 14(6), 1508–1520. doi: <https://doi.org/10.3745/JIPS.02.0104>
- Cetinkaya, I. H. (2021). World saw 13,654 quakes of magnitude 4 or above in 2020. Erişim Adresi (14 Şubat 2022): <https://www.aa.com.tr/en/environment/world-saw-13-654-quakes-of-magnitude-4-or-above-in-2020/2161305>
- Chen, T. ve Guestrin, C. (2016). XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794. doi: <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Chniti, G., Bakir, H. ve Zaher, H. (2017). E-commerce Time Series Forecasting using LSTM Neural Network and Support Vector Regression. *Proceedings of the International Conference on Big Data and Internet of Thing - BDIOT2017*, 80–84. New York: ACM Press. doi: <https://doi.org/10.1145/3175684.3175695>
- Contreras, D., Wilkinson, S. ve James, P. (2021). Earthquake Reconnaissance Data Sources, a Literature Review. *Earth*, 2(4), 1006–1037. doi: <https://doi.org/10.3390/earth2040060>
- Demšar, J., Curk, T., Erjavec, A., Gorup, Č., Hočevár, T., Milutinovič, M., ... Zupan, B. (2013). Orange: Data Mining Toolbox in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 14, 2349–2353.
- Falcone, R., Lima, C. ve Martinelli, E. (2020). Soft computing techniques in structural and earthquake engineering: a literature review. *Engineering Structures*, 207(November 2019), 110269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110269>
- Geiß, C. ve Taubenböck, H. (2013). Remote sensing contributing to assess earthquake risk: from a literature review towards a roadmap. *Natural Hazards*, 68(1), 7–48. doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0322-2>
- Goswami, S., Chakraborty, S., Ghosh, S., Chakrabarti, A. ve Chakraborty, B. (2018). A review on application of data mining techniques to combat natural disasters. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(3), 365–378. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.01.012>
- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B.,

- Reutemann, P. ve Witten, I. H. (2009). The WEKA Data Mining Software: An Update. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 11(1), 10–18. doi: <https://doi.org/10.1145/1656274.1656278>
- Kadam, P. ve Vijayumar, S. (2018). Prediction Model: CO2 Emission Using Machine Learning. *2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*. IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/I2CT.2018.8529498>
- Kahandawa, K. A. R. V. D., Domingo, N. D., Park, K. S. ve Uma, S. R. (2018). Earthquake damage estimation systems: Literature review. *Procedia Engineering*, 212, 622–628. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.080>
- Karaçay, T. (2022a). TBDY 2018 - Deprem Kuvveti (Konut Binaları). Erişim Adresi (14 Şubat 2022): https://www.kaggle.com/tarkankaraay/tbdy-2018-deprem-kuvveti-konut-binalari?select=Veri_Seti_1.xlsx
- Karaçay, T. (2022b). TBDY 2018 - Deprem Kuvveti (Konut Binaları). Erişim Adresi (14 Şubat 2022): https://www.kaggle.com/tarkankaraay/tbdy-2018-deprem-kuvveti-konut-binalari?select=AFAD_ss_s1.xlsx
- Mia, M. ve Dhar, N. R. (2016). Response surface and neural network based predictive models of cutting temperature in hard turning. *Journal of Advanced Research*, 7(6), 1035–1044. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2016.05.004>
- Mothilal, R. K., Sharma, A. ve Tan, C. (2020). Explaining machine learning classifiers through diverse counterfactual explanations. *Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 607–617. Barcelona. doi: <https://doi.org/10.1145/3351095.3372850>
- Ortega, J., Vasconcelos, G., Rodrigues, H., Correia, M. ve Lourenço, P. B. (2017). Traditional earthquake resistant techniques for vernacular architecture and local seismic cultures: A literature review. *Journal of Cultural Heritage*, 27, 181–196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.015>
- Otari, G. V. ve Kulkarni, D. R. V. (2012). A Review of Application of Data Mining in Earthquake Prediction. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 3(2), 3570–3574. Erişim Adresi: <http://www.ijcsit.com/docs/Volume3/Vol3Issue2/ijcsit2012030258.pdf>
- Parbat, D. ve Chakraborty, M. (2020). A python based support vector regression model for prediction of COVID19 cases in India. *Chaos, Solitons & Fractals*, 138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109942>
- Pham, B. T., Son, L. H., Hoang, T.-A., Nguyen, D.-M. ve Tien Bui, D. (2018). Prediction of shear strength of soft soil using machine learning methods. *CATENA*, 166, 181–191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.004>
- Planlı Alanlar Yönetmeliği (2017, 03 Temmuz). Resmi Gazete (Sayı: 30113). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/07/20170703-8.htm>
- Rossel, R. A. V. ve Behrens, T. (2010). Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. *Geoderma*, 158(1–2), 46–54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.12.025>
- Sayad, S. (b.t.). Support Vector Machine - Regression (SVR). Erişim Adresi (20 Ocak 2022): [https://www.saedsayad.com/support_vector_machine_reg.htm#:~:text=Support Vector Machine can also,the algorithm \(maximal margin\).&text=In the case of regression,already requested from the problem.](https://www.saedsayad.com/support_vector_machine_reg.htm#:~:text=Support Vector Machine can also,the algorithm (maximal margin).&text=In the case of regression,already requested from the problem.)
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018, 18 Mart). Resmi Gazete (Sayı: 30364). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>
- Türkoğlu, N. (2001). Türkiye'nin Yüzölçümü ve Nüfusunun Deprem Bölgelerine Dağılışı. In *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*.
- Wei, W., Ramalho, O., Malingre, L., Sivanantham, S., Little, J. C. ve Mandin, C. (2019). Machine learning and statistical models for predicting indoor air quality. *Indoor Air*, 29(5), 704–726. doi: <https://doi.org/10.1111/ina.12580>
- Wikipedia. (2022a). Pearson correlation coefficient. Erişim Adresi (17 Nisan 2022): https://en.wikipedia.org/wiki/Pearson_correlation_coefficient
- Wikipedia. (2022b). Spearman's rank correlation coefficient. Erişim Adresi (17 Nisan 2022): https://en.wikipedia.org/wiki/Spearman%27s_rank_correlation_coefficient
- Yuan, S., Jiao, Z., Quddus, N., Kwon, J. S.-I. ve Mashuga, C. V. (2019). Developing Quantitative Structure–Property Relationship Models To Predict the Upper Flammability Limit Using Machine Learning. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(8), 3531–3537. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b05938>

CONSERVATION OF TRADITIONAL HOUSES AND A CASE STUDY ON SAFETY EVALUATION BY USING LIMIT ANALYSIS

Z. Sena GÜNEŞ KAYA¹, Selahattin ERSOY^{2*}, Kemal Kutgün EYÜPGİLLER³

¹ Istanbul Technical University, Graduate School, Restoration Program in Architecture, Istanbul,
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-1595-6991>

² Istanbul University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Istanbul,
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-9426-9841>

³ Istanbul University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Istanbul,
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-9328-7829>

Keywords

Traditional Houses
Failure Mechanism
Hımış Structures
Orhaneli Houses

Abstract

Most of the traditional houses in western Anatolia are a type of hımış (traditional timber frame) structure. Deterioration of these traditional houses is mostly due to their abandonment. Abandonment causes the structure's load-bearing system vulnerable to environmental effects and ultimately weakens the structure against seismic loads. A case study is performed on the Orhaneli houses. Building-scale suggestions are proposed towards the conservation of these houses based on the performed analysis and documentation. The results of simplified limit analysis of 20 houses utilized in this study are presented and the need for finite element modeling of these structures with sophisticated connection detailing is underlined. It is observed that the majority of examined houses are resilient for the seismic events of 50% probability of exceedance in 50 years, however, they need to be retrofitted for the seismic events of 10% probability of exceedance in 50 years.

GELENEKSEL KONUTLARDA KORUMA VE LİMİT ANALİZİ KULLANILARAK GÜVENLİK DEĞERLENDİRMESİ ÜZERİNE BİR VAKA ÇALIŞMASI

Anahtar Kelimeler

Geleneksel konut
Hasar mekanizması
Hımış strüktürler
Orhaneli evleri

Öz

Batı Anadolu'daki geleneksel konutların çoğu hımış (geleneksel ahşap karkas) yapı tekniğiyle inşa edilmiştir. Bu geleneksel konutların bozulmaları daha çok terk edilmelerinden kaynaklanmaktadır. Terk, yapının taşıyıcı sisteminin çevresel etkilere karşı savunmasız kalmasına neden olmakta ve zamanla yapıyı sismik yüklere karşı zayıflatmaktadır. Bu kapsamda, Orhaneli evleri üzerinde bir vaka çalışması yapılmıştır. Yapılan analiz ve belgelere dayalı olarak bu evlerin korunmasına yönelik yapı ölçeğinde öneriler sunulmuştur. Bu çalışmada kullanılan 20 evin basitleştirilmiş limit analizinin sonuçları sunulmuş ve bu yapıların karmaşık bağlantı detaylandırması ile sonlu elemanlar modellemesine olan ihtiyacın altı çizilmiştir. İncelenen evlerin çoğunluğunun 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan sismik olaylara dayanıklı olduğu, ancak 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan sismik olaylar için evlerde güçlendirme yapılması gerektiği görülmüştür.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 06.01.2022

: 23.05.2022

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 06.01.2022

: 23.05.2022

* Sorumlu yazar; e-posta : selahattin.ersoy@istanbul.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

Historic settlements must be protected from the effects of natural disasters (International Council on Monuments and Sites, 2011). Natural disasters and abandonment severely affect the structural strength of traditional houses. A field study was conducted in the vicinity of Orhaneli to document traditional housing culture as well as to determine the behavior of traditional houses against seismic loads. Since the area is located in an earthquake-prone zone, determination of their seismic behavior is significant for their proper conservation methods.

Orhaneli is one of the rural-dominant towns of Bursa city, which was the first capital of the Ottoman Empire. Orhaneli is a mountainous region with its surrounding villages located in the southern part of the city and settled around the mountainside of Uludağ (Figure 1). According to sources, Orhaneli was founded by the Roman Emperor Hadrian in the 2nd century BC (Schwertheim, 2014).

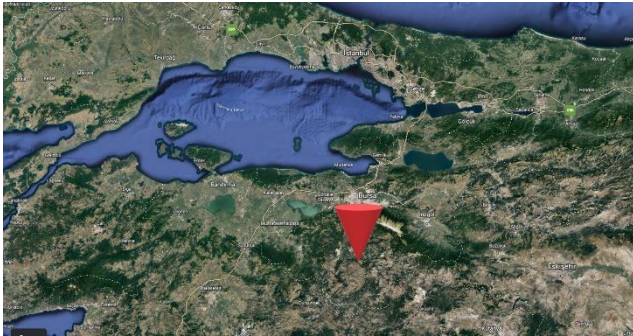


Figure 1. The location of Orhaneli in Marmara Region (Google Earth, 20.04.2022).

This study is based on traditional houses which have been documented for the center of Orhaneli and the surrounding villages. Existing traditional houses are built with natural materials of the surrounding area: stone, soil, wood, various types of limestone, and high-quality marble. Although the traditional texture is preserved, increasing deterioration rates due to abandonment threaten the environment. The rapid decline in the population increases the abandonment and this situation leads to adversarial effects on the condition of the load-bearing system of these houses. A careful study of the previous collapse mechanism of similar structures in the past earthquakes showed major mechanism formation in the stone wall section of these types of houses. Therefore, as a case study, a simplified mechanism analysis for 20 houses was performed to determine the performance levels.

2. Literature Review

Documentation of many traditional structures has revealed that the original textures of Orhaneli villages and houses in the town center are at high risk of structural deterioration caused by abandonment. For this reason, studies have been taken one step further. Kinematic limit analysis has been carried out to determine the robustness of the structures and their behavior against seismic loads.

The possible failure mechanisms for masonry structures and formulations for their analysis are given in various studies (D'ayala & Speranza, 2003). Observations outlined specific damage patterns and failure mechanisms (Casolo, Neumair, Parisi & Petrini, 2000; D'ayala & Benzoni, 2012). Systematic observations and inspections of earlier earthquakes helped to determine different collapse mechanisms of structures and based on this, a damage and vulnerability assessment approach was developed (Lagomarsino & Podesta, 2004). Lagomarsino and Podesta (2004) described collapse mechanisms related to different macroelements. A method for vulnerability analysis with a damage probability matrix based on structural collapse mechanisms of various elements of the structure was also established (Lagomarsino & Podesta, 2004a). Identification of damage states in a proper way, the damage mechanism activation, and the ultimate capacity of the masonry structure are crucial (Lagomarsino & Resemini, 2009). In general, the limit analysis is performed on a structure through an assumed failure mechanism, both by evaluation of the horizontal static multiplier of vertical loads and mass proportional inertial forces (Lagomarsino & Resemini 2009).

Many researchers recently focused on the seismic performances of traditional buildings in Turkey. For example, Doğangün, Tuluk, Livaoglu & Acar (2006) focus on traditional buildings and their damage during earthquakes in Turkey, while Ural, Doğangün, Sezen & Angın (2007) investigate the seismic performance of masonry buildings during the 2007 Ankara earthquake. Recent and frequent earthquakes of Elazığ (2010 and 2020) have been the source of new studies as well. Studies on masonry and concrete building failures during the 2010 Elazığ earthquake (Celep, Erken, Taşkın & Ilki, 2011) were also carried out. Assessments of masonry buildings in Elazığ and Malatya following the 2020 Elazığ earthquake (Günaydın et al., 2021) was also among the recent studies.

3. Characteristics and Structural Problems of Traditional Buildings

The foundation of the houses and the ground floors are masonry structures built of local stone. There are also examples where ground floors are built with adobe over

a stone foundation. For some of the structures built for residential use, a wooden-frame skeleton system with adobe infill instead of stone masonry is utilized above the foundation level. The wooden-frame skeleton system with adobe infill is often preferred for the upper floors. However, the entire upper floor is not a wooden-frame system, the exterior walls with stoves and cabinets are of stone masonry. There are a small number of examples where the upper floor is completely stone masonry or wooden-frame skeleton system. The facades are partially and interior walls are completely plastered and the Baghdadi technique is not utilized. A hip roof is formed by wooden beams and it is covered with tiles.

Dual-function (residence and barn) structures have ground floors with two entrance doors for each function and small ventilation windows. In residential buildings, there exist large windows as well as doors. The floors are built with floorboards with an average thickness of 2-3 cm installed over wooden beams. Ground floor ceilings are covered with wood if the venue is room. The ceilings of other areas are uncoated and making the floor beams visible. The same applies to the upper floors. While the ceilings of the rooms are covered by wooden planks – some even with embellishments on them, “sofa” usually does not have a ceiling cladding. Within the scope of this study, Orhaneli district center and the nearby villages of Deliballılar, Kusumlar, Sadağı, and Serçeler were examined. Some sample images of Orhaneli houses are given in Figure 2 and Figure 3.



Figure 2. Raimler House in Serçeler village, 2018.



Figure 3. Deliballılar village door no: 100, 2014.

One of the 20 buildings that are subject of this study, has a commercial function and 19 are residential. The floor plans of all these studied houses are shown in Figure 4. The ground floor exterior walls of the commercially functioning Altıncılar Coffeeshouse are stone masonry. The upper floor of the coffeeshouse with wooden skeleton walls with adobe infill has a residential plan with an internal “sofa”.

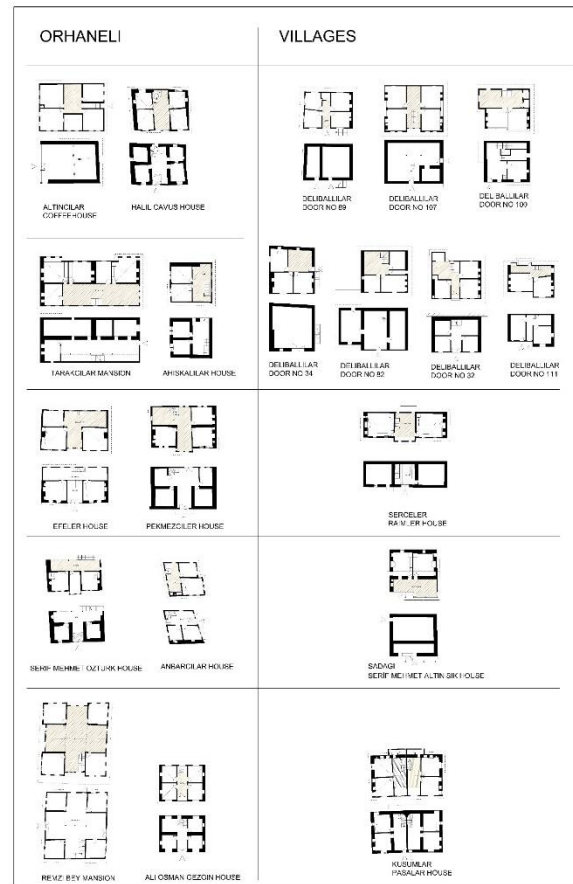


Figure 4. Floor plans of the studied Orhaneli houses

The ground floors of the residential houses are predominantly built with stone masonry with wooden beams placed horizontally at an average of 1.25m intervals as shown in Figure 5. For some of the houses, there are both stone masonry walls and wooden skeleton walls with adobe infill, on the ground floor (Ali Osman Gezgin House, Anbarcılar House, Efeler House, no: 32, no: 100, no: 111). It is observed that some of the houses were completely built by a wooden frame system with adobe infill (Remzi Bey Mansion).



Figure 5. A typical example of a continuous stone masonry wall on the ground floor and upper floor with embedded wooden beams.

The walls on the upper floors where the stone hearth and other complementary elements like cabinets exist, walls are continued as stone masonry. However, while some of the masonry walls are rising as masonry on the upper floor (Efeler House, no: 100, no: 107), in some, masonry walls are built with adobe blocks (Pekmezciler House, Paşalar House). The adobe blocks as the filling were preferred into the wooden frame system, where the partition walls and the facades without the stone hearths are located. For this reason, the minimum center of gravity asymmetry encountered on the ground floors increases on the upper floors.

The floors of the buildings are formed with wooden planks on wooden beams. The entrance sofa is named "taşlık" and its ceiling is not covered, however, the ceilings of the rooms are mostly covered. Like floors, the roof is also a wooden structure. Hipped roofs with tiles are very common in Orhaneli. There are wooden planks on top of the roof structure for the tile placement.

Only 20% of these mentioned structures are in constant use today. Bursa is one of the largest cities in Turkey and its population is constantly increasing. Despite this, the population growth rate of Orhaneli town has always been negative in recent years for various reasons. The following chart in Figure 6 shows the population growth rate and the dramatic population exchange. Bursa's population has exceeded 3 million recently, while

Orhaneli's population has not reached even 20000 in the last 30 years.

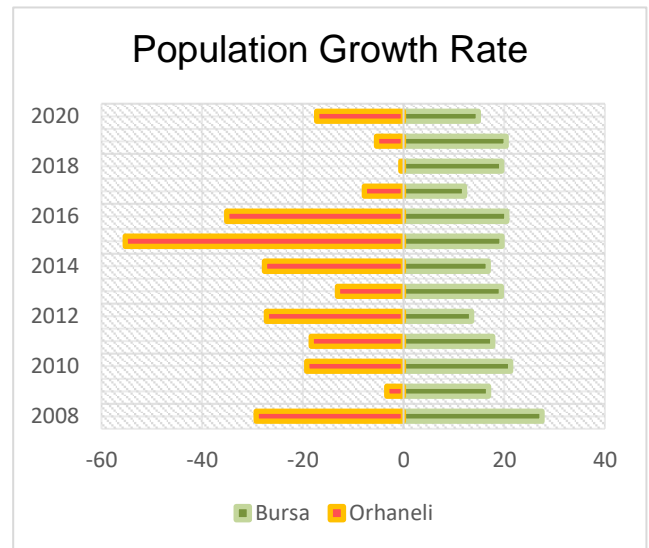


Figure 6. Comparison of population growth rate for Bursa and Orhaneli (TÜİK, accessed : 17.05.2021).

Traditional houses, as opposed to the new buildings with reinforced concrete framing, are abandoned first due to the decreasing population in Orhaneli and its surrounding villages. Abandonment causes acceleration of the strength loss in various parts of the structure. Earth materials cover wood materials and preserve wood from external factors like water and humidity. When a house loses its preservative layers of earth materials, both the earth and wood materials are compromised and begin to deteriorate and disappear. The most common deteriorations are loss of earth material like adobe filling and adobe mortar or decay of wood materials of roof framing or floors. For the abandoned houses, first, the roof gets deteriorated, and this leads to water intrusion into the walls and inside the house to the wooden floor. Water intrusion into the wall causes mortar degradation, degradation of the wooden beams in the wall, and finally section loss. Severe material deterioration weakens connections and finally jeopardizes the structural integrity of the house. In case of a seismic event, the deteriorated walls with improper floor diaphragms will be more susceptible to out-of-plane movement of the walls. All of these lead to a reduction in the robustness of the traditional houses and ultimately, these traditional houses become non-livable as per basic standards.

4. Kinematic Limit Analysis of The Traditional Orhaneli Houses Based on The Failure Mechanisms

Socio-cultural effects, environmental factors, and material availability are the main variables to form the

historical and traditional environment (Özdemir, Tavşan, Özgen, Sağsöz & Kars, 2008). The old Turkish-style house is identified with its stone masonry ground floor and the wooden-frame upper floor and this type of construction in Turkey has been used for well over 400 years. The structural system of the civil structures in different settlements around Orhaneli that are subject to the current study is usually composed of stone and wood, and the insulation on the walls is provided by soil plaster.

There are many different types of hımsı houses in terms of infill material in different parts of Turkey (Cerasi 1998; Kuban 2018; Sözen 2001). Hımsı structures of Orhaneli houses are mostly wooden frames with adobe infill. Orhaneli houses are composite structures, ground floors are stone masonry and upper floors are composed of a wooden frame with adobe infill. Some of the exterior walls on the upper floor are stone masonry. Floors are composed of one-way floor beams covered by wooden planks and the assumption on the diaphragm stiffness has a paramount effect on the response of masonry wood composite structures. Floor diaphragms are neither infinitely flexible nor rigid. The rigid diaphragm assumption of these types of floors yields unrealistic results (Lagomarsino, Penna, Galasco & Cattari, 2013).

There have been many types of research for masonry structures with numerous modeling techniques. The common methods utilized are micro-modeling, simplified micro-modeling, and macro-modeling in the Finite Element (FE) Models (Chácará, Mendes & Lourenço, 2017; Kamal, Hamdy & El-Salakawy, 2014; Lourenco, 1996; Özen, 2006). Equivalent frame modeling is utilized in the non-linear analysis of masonry structures (Lagomarsino et al., 2013; Yousefi and Soltani, 2019). Tremuri software with an equivalent frame modeling approach is very powerful for non-linear analysis of masonry structures, it can be utilized for stone masonry parts of the Orhaneli houses, and it is even possible to model the flexible wooden floor system. However, the wooden frame wall with adobe infills is still an important issue in the modeling of these houses.

Hımsı structures are traditional timber housing in many parts of Anatolia and studies on their seismic structural performance is very limited. Aktaş et al. have performed a robust experimental study to develop the seismic performance of hımsı frames with different infill material and cladding (Aktaş, Akyuz & Turer, 2014). However, finite element modeling and analysis of the combined stone masonry and hımsı structure is still not pursued. Appropriate modeling requires depicting first the connection on the horizontal plane between the ground level masonry walls and upper hımsı walls, Second the connection on the vertical plane between the hımsı walls and stone masonry on the upper floor, and the last proper modeling of the wooden frame floor (Aktaş, 2017). Besides, the inclusion of the effect of material degradation, modifications, and workmanship

to the modeling is also a very challenging issue (Aktaş, 2017). The individual response of walls is often observed during an earthquake for these types of structures (Erdik et al., 2003).

In recent studies for traditional houses in Turkey as referenced in the literature survey section, the performances of these houses and sustained damages during earthquakes suggested that the mechanism failure of the walls is very common. Therefore, kinematic limit analysis is performed towards the understanding of the behavior of Orhaneli houses, before relatively complex non-linear finite element analysis.

4.1. Methodology

Technical guides and the standards in seismic codes developed for the new buildings are not appropriate for the architectural heritage. Therefore a guide was developed by the Directorate General of Foundations of Turkey for the management of earthquake risks for architectural heritage buildings (The Directorate General of Foundations of Turkey, 2017). The analysis method is based on the assumed failure mechanisms. For a specific mechanism, the expected vertical and horizontal loads are placed in the system and virtual displacement compatible with the mechanism is taken into consideration. The opposing horizontal force is calculated using the virtual work principle. The inertia force of all possible mechanisms and the effects that occur in the junctions are calculated and checked, the possible state of collapse is determined.

The connection between ground floor stone masonry and the upper wooden frame with adobe infill, connection of the exterior masonry wall, and the wooden framing in the upper floor, and flexible one-way wooden floor system makes the structure very sensitive to the generation of collapse mechanism of the individual walls. Post reconnaissance reports show heavy damage to masonry structures and the common damage type is x-type shear cracks, failure of infill materials in out-of-plane direction (Erdik et al., 2003; Şahin Güçhan, 2007).

The possible mechanisms are projected by assessment of past damages for these types of structures and these mechanisms are shown in Figure 7. The subject Orhaneli houses are all solved for the cases given based on Eqs. (1) through (6).

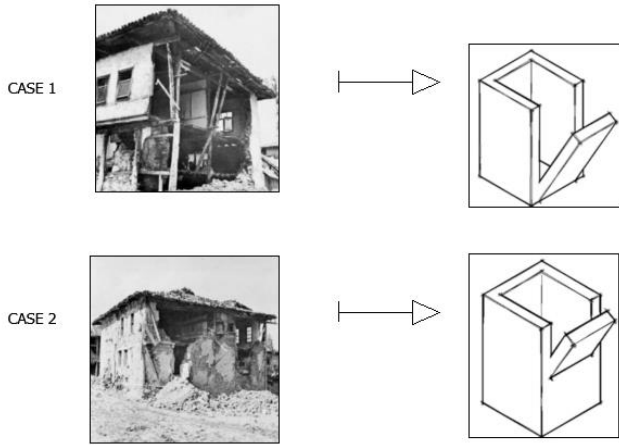


Figure 7. Failure mechanisms of the typical masonry and wooden frame combined houses.

$$\alpha_0 \sum_i P_i \delta_{xi} + \alpha_0 \sum_i W_i \delta_{xi} - \sum_i P_i \delta_{yi} - \sum_i W_i \delta_{yi} = 0 \quad (1)$$

$$M^* = [\sum_i (W_i \delta_{xi}) + \sum_i (P_i \delta_{xi})]^2 / [g \sum_i (W_i \delta_{xi}^2) + g \sum_i (P_i \delta_{xi}^2)] \quad (2)$$

$$a_{capacity} = [\alpha_0 (\sum_i W_i + \sum_i P_i)] / M^* = \alpha_0 g e^* \quad (3)$$

$$e^* = g M^* / (\sum_i W_i + \sum_i P_i) \quad (4)$$

α_0 is the coefficient for the load in the horizontal direction, e^* is the mass participation factor, M^* is the effective modal mass, W_i is the self-weight of the wall at level i , P_i is the load from the level i on the wall, δ_{xi} and δ_{yi} are the horizontal and vertical displacement of the corresponding forces (The Directorate General of Foundations of Turkey, 2017). For immediate use performance level, Eq. (5) is used for the capacity. If the capacity is required above the base level for the same performance, then Eq. (6) is employed.

$$a_{capacity} \geq 0.4g S_{Ds} \quad (5)$$

$$a_{capacity} \geq S_{ae}(T_1) \phi(z/h) \Gamma \quad (6)$$

$S_{ae}(T_1)$ is the elastic spectral design acceleration for the respective mode, $\phi(z/h)$ is the normalized first mode shape to top, Γ is the modal contribution factor.

The elastic response spectrum for the work area is presented in Figure 8 for the seismic level of DD-3 (exceedance probability of 50% in 50 years with a return period of 72 years) and seismic level of DD-2 (exceedance probability of 50% in 10 years with a return period of 475 years). The analysis is pursued both for DD-2 and DD-3 seismic levels based on the guidelines on seismic risk management of historical structures (The Directorate General of Foundations of Turkey, 2017). The seismic hazard map of Turkey and the close-up map for the current site is shown in Figure 9.

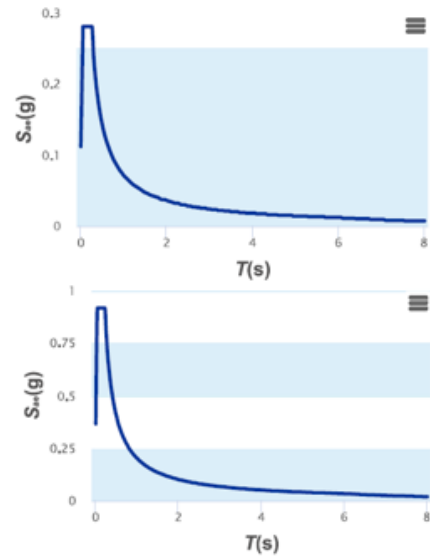


Figure 8. The response spectrum for the work area, DD-3 and DD-2 seismic levels.

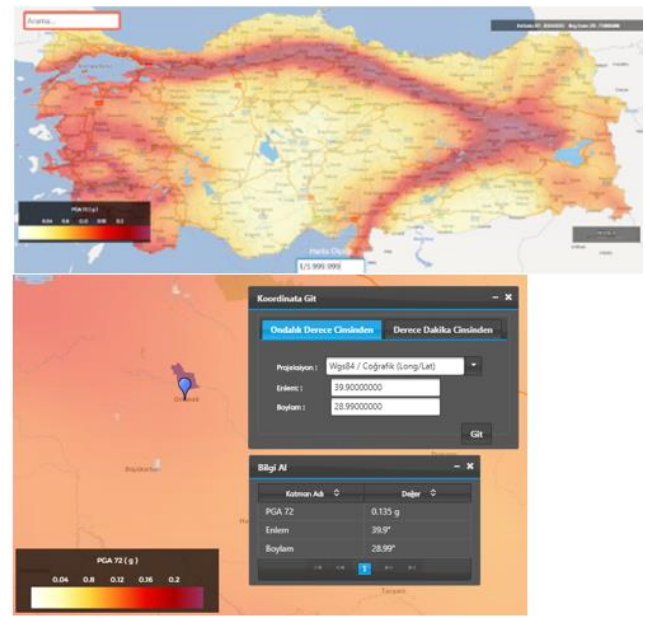


Figure 9. Seismic map of Turkey with a 50% probability of exceedance in 50 years and a close-up map of PGA for the site under investigation (AFAD Turkey Seismic Risk Map Interactive Web Application, 2020).

4.1. Analysis and Results

For all the houses considered in this study, failure mechanism analysis is performed for seismic load levels of DD-2 and DD-3. Short period design spectral acceleration coefficient for the desired level is taken from AFAD that are specific to the site. For simplicity soil class is assumed as ZB for all the cases. Two performance level is considered as life safety and immediate use. For the life safety performance level, the

response modification factor is taken as 2 and for the immediate use safety level, the response modification factor is taken as 1 as per recommendations given in the management of earthquake risks for architectural heritage buildings (The Directorate General of Foundations of Turkey, 2017). Material properties used in the analysis are presented in Table 1. In the calculations, 30% of the live load is taken into account. The resisting moment is calculated over the base or the first-floor level depending on the chosen collapse mechanism. The overturning moment is also calculated over the base or the first-floor level. Relative floor displacement for both mechanisms is found in both cases. Modal mass participation and effective modal mass are calculated. By use of effective modal mass, the capacity is calculated. Obtained capacity value is then compared to the demand values for seismic levels of DD-2 and DD-3 and each seismic performance level.

Table 1.

The material properties used in the analysis

Type of material	Unit weight (kN/m ³)
Masonry	20
Adobe	16
Wood	8

Capacity demand ratio (C/D) results for the failure mechanism of case 1 and case 2 are given in Figure 10 and Figure 11, respectively. In these figures, ratios are given for seismic performance level of immediate occupancy (IO) and life safety (LS) for DD-2 and DD-3. As it can be noticed, the C/D of many houses is above 1.0 for seismic level DD-3 for both LS and IO seismic performance levels for case I and case II. However, the C/D of most of the houses is less than 1.0 for seismic level DD-2 for both LS and IO seismic performance levels for the case I and case II. For the total of 20 case studies, the C/D is below 1 in one of the case studies for seismic level DD-3 and LS seismic performance level for the mechanism I. However, for mechanism 2 for the same seismic level (DD-3) and performance (LS), the number of case studies with C/D below 1 is 3. It is observed that the lower C/D is obtained for mechanism 2 and mechanism 2 is more critical. For the total of 20 case studies, seismic level DD2 and IO performance level, both for the mechanism I and mechanism 2, C/D is below 1.

A sample capacity demand ratio calculation for one of the 20 buildings used in the study for a given performance level and a collapse mechanism is given in Table 2. In the table, the calculation for one of the case studies, Tarakçılar house, is presented. The analysis in the given example is based on collapse mechanism II and

life safety performance level. For this mechanism, the expected vertical and horizontal loads are placed in the system and virtual displacement compatible with the mechanism is taken into consideration by use of the formulas 1 through 6 given in the methodology section. The opposing horizontal force is calculated using the virtual work principle and inertia force of the considered mechanism. For the given example, the capacity is calculated as 0.286g. The demand is 0.291g and 0.086g for seismic levels DD-2 and DD-3, respectively. Therefore the C/D is calculated as 0.286g/0.291g for DD2 and 0.286g/0.086g for DD-3. As it is seen in Figure 11, the C/D is above 1 for DD-3 and LS case, however, it is slightly below 1 for the DD-2 and LS case for the presented example of Tarakçılar house.

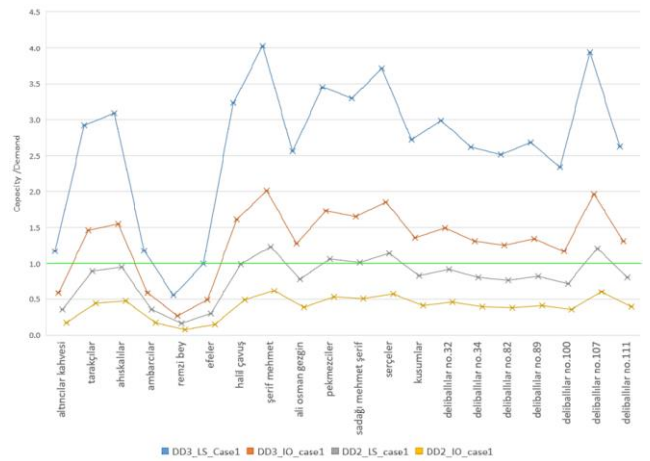


Figure 10. Capacity demand ratio results for collapse mechanism case 1.

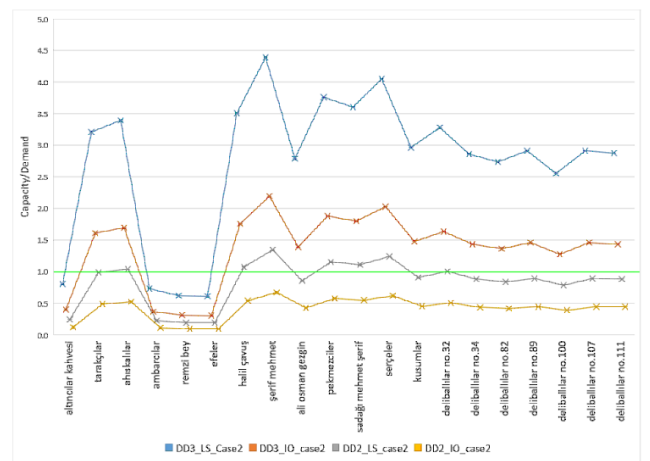


Figure 11. Capacity demand ratio results for collapse mechanism case 2.

Table 2.

A sample capacity demand ratio calculation for life safety performance level and collapse mechanism II: Tarakçılar house

collapse mechanism II					
<i>performance lev life safety</i>					
DD2					
S _{DS}	0.916				
DD3					
S _{DS}	0.281				
R	2				
g	0.25 kN/m ²	dead load			
q	2.453 kN/m ²	live load			
g - çatı	1 kN/m ²	roof dead load			
q - çatı	1 kN/m ²	roof live load			
Y _z	20 kN/m ³				
A	7.841	m ²	0.5	3.22	4.87
W _z	121.7	kN			
P _z	7.729	kN	dead load+30% of live load over a tributary area		
B _z	3.22	m			
h _z	2.7	m			
t _z	0.7	m			
Y ₁	20 kN/m ³				
A	7.841	m ²	0.5	3.22	4.87
W ₁	108.2	kN			
P ₁	10.19	kN			
B ₁	3.22	m			
h ₁	2.4	m			
t ₁	0.7	m			
M _{resisting}	41.43	kN-m	resisting moment about level 1		
M _{overturning}					
α ₀	0.269				
δ _{wz}	0				
δ _{pz}	0				
δ _{w1}	0.5				
δ _{p1}	1				
M*					
e*	11.31 N-s ² /m				
e*	0.937				
a _{capacity}	2.810	m/s ²	or	0.286	g
φ(z/h)	0.529				
N	2				
Γ	1.2				
a _{demand}	2.854	m/s ²	or	0.291	g for DD2 level
a _{demand}	0.876	m/s ²	or	0.089	g for DD3 level

The minimum thickness requirement and maximum aspect ratio (the ratio of wall height to its thickness) for unreinforced masonry structures are given in Turkey Building Seismic Code as shown in Table 3 (T.C. İç İşleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018). In this table (t_{eff})_{min} is the minimum thickness of the masonry wall, and (h_{eff}/t_{eff})_{max} is the ratio of maximum wall height to its thickness. Masonry walls of Orhaneli houses comply with the code requirement.

Table 3.

Thickness and aspect ratio requirement of unreinforced masonry wall for base shear in Turkey Seismic Building Code 2018

Masonry type	(t _{eff}) _{min} (mm)	(h _{eff} /t _{eff}) _{max}
Masonry (unreinforced) with natural or unnatural cut-stone	350	9
Masonry (unreinforced), with other masonry units	240	12

5. Suggestions for Structural Consolidation

Increasing structural deteriorations in buildings due to abandonment render buildings vulnerable to earthquakes. The increases in deterioration levels not only weaken the structure but also causes the loss of a whole traditional house and traditional texture. It is possible to reconstruct the lost traditional structure with reconstruction. Although reconstruction is one of the most major conservation techniques, it is debatable how much the reconstructed building reflects the original spirit of a traditional house. Therefore, reconstruction is chosen as the last option of conservation techniques and it is preferred to avoid reconstruction if possible.

Consolidation, renovation, and adaptation are suitable restoration applications for traditional Orhaneli houses. Survival of these structures heavily depends on their periodic inspection and minor repairs to the structural system as necessary. Consolidation should be applied for structures whose structural conditions are weakened. Consolidation not only prevents the destruction of the traditional house but also protects against earthquake effects, which are natural risk factors in Turkey.

6. Conclusions

The main purpose of this study is to determine the structural deteriorations and seismic behavior of traditional Orhaneli houses. The article indicates the importance of the structural strength of traditional Orhaneli houses and the main deterioration problems in the load-bearing system and building materials.

The construction system of Orhaneli houses is similar to typical hımsı construction. Natural building materials such as wood, stone, and adobe used in buildings need constant maintenance. However, population loss and abandonment cause rapid deterioration. Discrete materials within the construction system of Orhaneli houses make them vulnerable to the individual rigid

body motion of the walls. The connection of masonry walls to the upper wooden-frame adobe infill walls in a horizontal plane and the connection of masonry walls to the wooden frame adobe infill walls at vertical planes require utmost attention. Based on the limit analysis results, Orhaneli houses need to be retrofitted for design seismic level (DD-2) both for seismic performance levels of IO and LS. It is also observed that the performance of the houses for the seismic level DD-3 is acceptable. It is also observed that among the case studies, DD-3 and LS performance level is more critical for mechanism 2 compared to mechanism 1. C/D ranges between 0.08 and 0.61 for seismic level DD-2 and IO performance level for collapse mechanism 1. C/D ranges between 0.09 and 0.67 for seismic level DD-2 and IO performance level for collapse mechanism 2. Both for mechanism 1 and mechanism 2, the seismic level DD-2 and IO performance levels are not satisfactory. C/D ranges between 0.17 and 1.23 for seismic level DD-2 and LS performance level for collapse mechanism 1. C/D ranges between 0.19 and 1.35 for seismic level DD-2 and LS performance level for collapse mechanism 2. For mechanism 1 with seismic level DD-2 and LS, 5 out of 20 study cases, are satisfactory. For mechanism 2 with seismic level DD-2 and LS, 7 out of 20 study cases, are satisfactory.

The seismic performance of the traditional Orhaneli houses needs to be elaborated further, for the development of proper seismic retrofit techniques and to conserve and pass these historic heritage values to the next generations. As a future recommendation, the material tests and vibrations tests on these houses need to be performed and the results need to be used in a refined finite element model with nonlinear analysis.

Acknowledgments

The authors are grateful for the support of Orhaneli Municipality and the owners of buildings during the execution of fieldwork. The results and the conclusions are those of the authors and do not necessarily reflect the views of the sponsors.

Authors Contributions

This study is based on the Z. Sena Güneş Kaya's PhD thesis titled "Analysis of Traditional Housing Architecture and Conservation Problems in Orhaneli and Its Surroundings which is being conducted under the supervision of Prof. Dr. K. Kutgün Eyüpgiller at the Istanbul Technical University Graduate School Department of Architecture.

In this study; Author 1 contributed on execution of the field work, documentation of the traditional houses, literature survey, writing the manuscript, and preparing the drawings; Author 2 contributed on literature survey,

execution of the limit analysis, analysis of the results, and writing the manuscript; Author 3 contributed on setting guides for the execution of the field work and the analysis.

Conflict of Interest

No conflict of interest has been declared by the authors.

References

- AFAD Turkey Seismic Risk Map Interactive Web Application. (2020). Retrieved from: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>
- Aktaş, Y. D., Akyuz, U. & Turer, A. (2014). Seismic resistance evaluation of traditional Ottoman timber-frame hımiş houses: frame loadings and material tests. *Earthquake Spectra*, 30, 1711-1732. <https://doi.org/10.1193%2F011412EQS011M>
- Aktaş, Y. D. (2017). Seismic resistance of traditional timber-frame hımiş structures in Turkey: a brief overview, *International Wood Products Journal*, 8, 21-28. <https://doi.org/10.1080/20426445.2016.1273683>
- Casolo, S., Neumair, S., Parisi, M.A. & Petrini, V. (2000). Analysis of seismic damage patterns in old masonry church facades. *Earthquake Spectra*, 16(4), 757-773.
- Cerasi M. (1998). The formation of ottoman house types: a comparative study in interaction with neighbouring cultures, *Muqarnas Online*, 15(1), 116-156.
- Celep, Z., Erken, A., Taskin, B. & Ilki, A. (2011). Failures of masonry and concrete buildings during the March 8, 2010 Kovancılar and Palu (Elazığ) Earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 18, 868-889. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2010.11.001>
- Chácara, C., Mendes, N., & Lourenço, P. B. (2017). Simulation of shake table tests on out-of-plane masonry buildings. Part (IV): macro and micro fem based approaches, *International Journal of Architectural Heritage*, 11(1), 103-116. <https://doi.org/10.1080/15583058.2016.1238972>
- D'Ayala, A., & Speranza, E. (2003). Definition of collapse mechanisms and seismic vulnerability of historic masonry buildings. *Earthquake Spectra*, 19(3), 479-509.
- D'Ayala, A., & Benzoni, G. (2012). Historic and traditional structures during the 2010 Chile earthquake: observations, codes, and conservation strategies. *Earthquake Spectra*, 28(S1), S425-S451.

- Doğangün, A., Tuluk, Ö.İ., Livaoğlu, R. & Acar, R. (2006). Traditional wooden buildings and their damages during earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 13, 981-996. doi: 10.1016/j.engfailanal.2005.04.011
- Erdik, M., Demircioğlu, M., Beyen, K., Sesetyan, K., Aydınoglu, N. & Gul, M. (2003). May 01, 2003 Bingöl (Turkey) Earthquake. EERI. https://www.eeri.org/lfe/pdf/turkey_bingol_reconnaissance_report_erdik.pdf
- Günaydın, M., Atmaca, B., Demir, S., Altunışık, A. C., Hüsem, M., Adanur, S., Ateş, Ş. & Angın, Z. (2021). Seismic damage assessment of masonry buildings in Elazığ and Malatya following the 2020 Elazığ-Sivrice earthquake, Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, 2421-2456. doi: <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01073-5>
- International Council on Monuments and Sites. (2011). The Valletta principles for the safeguarding and management of historic cities, towns and urban areas. Paris.
- Kamal, O. A., Hamdy, G. A., & El-Salakawy, T. S. (2014). Nonlinear analysis of historic and contemporary vaulted masonry assemblages. *HBRC Journal*, 10(3), 235-246. <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2013.11.004>
- Kuban, D. (2018). *Türk ahşap konut mimarisi 17. - 19. yüzyıllar*. İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- Lagomarsino, S., Penna, A., Galasco, A. & Cattari, S. (2013). TREMURI program: An equivalent frame model for the nonlinear seismic analysis of masonry buildings. *Engineering Structures*, 56, 1787-1799. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.08.002>
- Lagomarsino, S. & Podesta, S. (2004). Seismic vulnerability of ancient churches: I. Damage assessment and emergency planning. *Earthquake Spectra*, 20(2), 377-394.
- Lagomarsino, S. & Podesta, S. (2004a). Seismic vulnerability of ancient churches: II. Statistical analysis of surveyed data and methods for risk analysis. *Earthquake Spectra*, 20(2), 395-412.
- Lagomarsino, S. & Resemini, S. (2009). The assessment of damage limitation state in the seismic analysis of monumental buildings. *Earthquake Spectra*, 25(2), 323-346.
- Lourenco, P. B. (1996). *Computational strategies for masonry structures* (Ph. D. Thesis). Delft University, the Netherlands.
- Özdemir, I. M., Tavşan, C., Özgen, S., Sağsöz, A. & Kars, F. B. (2008). The elements of forming traditional Turkish cities: Examination of houses and streets in historical city of Erzurum, *Building and Environment* 43: 963-982.
- Özen, G. Ö. (2006). *Comparison of elastic and inelastic behavior of historic masonry structures at the low load levels* (M.S. Thesis). Middle East Technical University, Turkey.
- Schwertheim, E. (2014). Hadrianoi'nin tarihi coğrafyası (transl. İ. H. Mert). Bursa ve İlçeleri Arkeolojik Kültür Envanteri - I, 11-19. Bursa Büyükşehir Belediyesi.
- Sözen, M. (2001). *Türklerde Ev Kültürü*. İstanbul: Doğan Kitapçılık A.Ş.
- Şahin Güçhan, N. (2007). Observations on earthquake resistance of traditional timber-framed houses in Turkey. *Building and Environment*, 42(2), 840-851. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.09.027>
- T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2018). Republic of Turkey Ministry of Interior Disaster and Emergency Management Authority 2018 Turkey seismic code.
- The Directorate General of Foundations of Turkey. (2017). Guidelines for Seismic Risk Management of Historic Structures.
- Ural, A., Doğangün, A., Sezen, H. & Angın, Z. (2012). Seismic performance of masonry buildings during the 2007 Bala, Turkey earthquakes. *Natural Hazards*, 60, 1013-1026. doi: 10.1007/s11069-011-9887-4
- Yousefi, B. and Soltani, M. (2019). An equivalent fiber frame model for nonlinear analysis of masonry structures. *International Journal of Architectural Heritage*, 0(0), 1-25. <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1638993>

POLİETİLEN NANOKOMPOZİTLERDE NANO TABAKALI BOR NİTRÜR (BNNS) TAKVİYESİNİN BİYOBOZUNURLUĞA ETKİSİ

Zuhal YILMAZ^{1*}, Nuran AY²

¹ Bilecik Seyh Edebali University, Sogut Vocational School, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-2280-6326>

² Eskisehir Technical University, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-2228-9904>

Anahtar Kelimeler	Öz
Biyobozunurluk, BNNS, Polietilen film, Nanokompozit PE film, Toprak bozunması.	<i>Polietilen (PE) kısmi termoplastik bir malzemedir. Hekzagonal bor nitrid (hBN) grafit benzer tabakalı bir yapıdadır, süper katı yağlayıcı, UV ışın yayıcı veya kompozitlerde ısı iletkenlik artırıcı ajan olarak kullanılabilir. hBN'nin mikro boyutlu tanelerinin kimyasal ekzfolasyonu ile elde edilen, üstün mekanik ve ısı özelliklerine sahip nano tabakalı bor nitrid (BNNS), polimerlerin ısı, bariyer ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için dolgu maddesi olarak kullanımı literatürde yerini almıştır. Alçak yoğunluklu polietilen (AYPE)-BNNS içeren kompozit filmlerin biyobozunurlukları ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, daha önce ekstrüzyon yöntemi ile hazırlanmış ve karakterizasyon testleri yapılmış olan BNNS içeren AYPE nanokompozit filmlerin biyobozunurluk özelliklerinin belirlenmesi incelenmiştir. Biyobozunurluk analizleri ASTM D 5988-03 (Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation in Soil of Plastic Materials After Composting)'e göre 2-99 gün aralığında gerçekleştirilmiştir. 100 g toprak ve 0,2 g örnek içeren biyometre erlenlerine nem oranı % 65 olarak ayarlanmıştır. Biyobozunurluğun gerçekleşmesi için toprakta di amonyum hidrojen fosfat ((NH₄)₂HPO₄) kullanılarak C:N ayarlaması 15:1 oranında yapılmıştır. Titrasyon yöntemi ile analiz yapılarak bozunma sonucu oluşan CO₂ miktarı hesaplanmıştır. Biyobozunurluk analizleri ile bulunan CO₂ miktarının / elementel analiz sonucu bulunan teorik CO₂ miktarına oranı yüzde (%) biyobozunurluk belirlenmiştir. %1 BNNS içeren numunenin biyobozunurluğunun BNNS içermeyen numuneye göre %0,83, negatif numune olan endüstriyel sera naylonuna göre %0,99 daha az olduğu belirlenmiştir. AYPE ve hBN'nin XRD pik şiddetlerinde biyobozunurluk alanizi sonrasında polimer yapısındaki değişimden kaynaklı olarak azalma tespit edilmiştir. FTIR sonuçları da biyolojik bozunmadan kaynaklanan OH grupları içeren oksitlenmiş parçalardan dolayı yeni dalga boylarında bant oluşumlarını göstermektedir. hBN ilavesinin bariyer, ısı ve mekanik özelliklerini iyileştirdiği için polimer yapısını mikroorganizmalara karşı daha dayanıklı hale getirdiği ve kullanım ömrünü artırdığı belirlenmiştir.</i>

EFFECT OF NANO-LAYERED BORON NITRIDE (BNNS) ADDITION ON BIODEGRADABILITY PROPERTIES OF POLYETHYLENE NANOCOMPOSITES

Keywords	Abstract
Biodegradability, BNNS, Polyethylene film, PE film nanocomposite, Soil degradation.	<i>Polyethylene (PE) is a partial thermoplastic material. Hexagonal boron nitride (hBN) is a layered structure similar to graphite. hBN is used as super solid lubricants, UV radiators or thermal conductivity enhancing agents in composites. The use of nano-layered boron nitride (BNNS), which is obtained by chemical exfoliation of hBN's micro-sized grains with has superior mechanical and thermal properties, has taken place in the literature as filler for improving polymer barrier, thermal and mechanical properties. However, in the literature on the biodegradability of composite films containing low density polyethylene (LDPE) BNNS study hasn't been found. In this study, the determination of biodegradability properties of LDPE</i>

* Sorumlu yazar; e-posta : zuhal.guven@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/>).

nanocomposite films containing BNNS, which were previously prepared by extrusion method and characterization tests were carried out, were investigated. Biodegradability analysis were performed according to ASTM D 5988-03 (Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials After Composting in Soil) between 2-99 days. The humidity ratio was set to 65% for the biometer flasks containing 100 g of soil and 0.2 g of sample. In order for biodegradability to occur, the C:N adjustment was made at a ratio of 15:1 using di ammonium hydrogen phosphate ((NH₄)₂HPO₄) in the soil. The amount of CO₂ formed as a result of biodegradability was calculated by analyzing with the titration method. The ratio of the amount of CO₂ found by biodegradability analyzes to the theoretical amount of CO₂ found as a result of elemental analysis was calculated as percentage (%) biodegradability. The biodegradability of the sample containing 1% BNNS, it was determined to be less than the sample without BNNS and the negative greenhouse nylon, 0.83% and 0.99%, respectively. After the analysis of biodegradability, the XRD peak intensities of LDPE and hBN was determined decrease due to the change in the polymer structure. In the FTIR results, band formations were observed at new wavelengths due to oxidized fragments containing OH groups resulting from biodegradation. With the addition of hBN, it was determined that the barrier, thermal and mechanical properties were improved, the polymer structure became more resistant to microorganisms and increased its service life.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 25.02.2022	Submission Date	: 25.02.2022
Kabul Tarihi	: 23.05.2022	Accepted Date	: 23.05.2022

1. Giriş

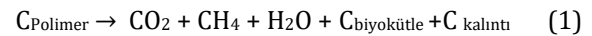
Teknolojideki ilerlemeler ve dünya nüfusunun artmasıyla birlikte plastik malzemeler hayatın ve endüstrinin her alanında geniş uygulama alanları bulmuştur. Plastik malzemeler hafifliği, inertliği ve düşük maliyetli nedeniyle yaygın olarak kullanılırlar [Rudeekit, 2006]. Polistiren, polipropilen, polietilen, poli(metil metakrilat) ve poli(vinil klorür) gibi petrole dayalı bu yapay plastikler günlük yaşamımızda her alanda kullanılmaktadır [Nowak vd. 2012; Tokiwa vd., 2009]. Polimer malzemeler tek başlarına özellikleri açısından endüstriyel talepleri karşılayamamaktadır. Bu sebeple çeşitli dolgu maddeleri ile kolay şekillendirme ve kullanım esnasında mukavemet ve sertlik özelliklerini iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Karbon nanotüpler, grafen, kil ve karbon siyahı polimerinin özellikleri iyileştirmek için kullanılan birkaç dolgu maddesidir [Xu vd., 2020; Lakshmi vd., 2008; Okan 2017]. Bu ilavelerin ana polimerlerin fizikokimyasal özelliklerini verimli bir şekilde geliştirdiği kanıtlanmıştır. Son yıllarda en yaygın kullanılan katkı maddesi grafendir [Shan vd., 2021; Barra vd., 2019].

Bor nitür (BN), ilk olarak 1842 yılında sentezlenmiş, doğada bulunmayan bir seramik üründür [Balmin 1842]. Hekzagonal bor nitür (hBN) grafit benzeri pullu yapısı gereği beyaz grafit olarak da adlandırılmaktadır. Karbona benzer kristal yapısı, yüksek ısı şok direnci, ısı iletkenlik, elektriksel yalıtkanlık, düşük dielektrik sabiti, zehirsiz olması, kolay şekil alabilen, ergimiş metallere karşı ıslanma özelliği olması, kimyasal kararlılık ve mükemmel yağlayıcılık gibi özellikleri nedeniyle endüstride geniş kullanım alanı bulan inorganik bir malzemedir [Özbelge vd., 2008; Shi vd. 2008]. Son

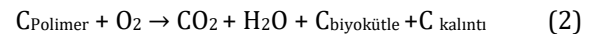
yıllarda bu özelliklerinden ve grafit benzeri yapısı dolayısı ile polimer üretiminde bor nitürün kullanımı artmaktadır. hBN üretim esnasında yalnızca eriyik kırılmasını ortadan kaldırmak için değil, aynı zamanda yarılma hatalarını önemli ölçüde daha yüksek kayma oranlarına ertelemek için işleme yardımcıları olarak başarılı bir şekilde kullanılabilir. hBN erimiş polimer içerisinde gerilme giderici olarak düzgün yüzeyli şekillendirme sağlayabilmektedir [Hatzikiriakos ve Rathod 2003; Katatchlow vd., 2000; Seth ve Hatzikiriakos 2001; Rathod ve Hatzikiriakos 2004; Ay vd., 2020]. Ayrıca polimer malzemelerin fiziksel, mekanik ve ısıl özellikleri geliştirmek içinde hBN kullanımı bulunmaktadır [Ali ve Abdala 2021; Wang vd., 2021; Joy vd., 2020].

Biyobozunurluk, organik yapıların mineralizasyonunu mikroorganizmalar ile tanımlayan bir prosestir. Biyobozunurluk süreci ikiye ayrılır (Eşitlik 1, 2) [Leja ve Lewandowicz 2010]:

1. Anaerobik biyolojik bozulma:



2. Aerobik biyolojik bozunma:



Anaerobik biyolojik bozulma plastik malzemelerin biyobozunurluğu mikroorganizmaların enzimatik etkinliği ile karbon dioksit, metan, su, ağırlıklı olarak, inorganik bileşikler veya biyokütleye ayrışma yeteneği olarak tanımlanmaktadır [Mohee vd., 2008]. Aerobik biyolojik bozunma ise plastik malzemenin atmosferik oksijen tüketimi ile karbondioksit, su ve biyokütle (yani büyüyen mikroorganizmalar tarafından geliştirilen yeni biyolojik maddeye) dönüştürülmesidir

[Ardisson vd., 2014; Jeon vd., 2021; Khandare vd., 2021].

Polietilen (PE) gıda ambalajları, perakende sektörü ve tarım sektörü gibi çok çeşitli uygulamalar için kullanılır. Örneğin, polietilen ile yapılan plastik malç filmleri, yabancı otları kontrol etmek ve toprak sıcaklığını ve nemi kararlı halde tutmak için başarıyla uygulanır [Ardisson vd., 2014]. AYPE opaklık, gerilme mukavemeti, yırtılma mukavemeti, sertlik ve kimyasal direnç, düşük sıcaklıkta bile esneklik gibi çeşitli özelliklere yol açan %50-60 aralığında bir kristallik derecesine sahip yarı kristalin bir katıdır. Çok yönlü özellikleri ve kullanışlılığı nedeniyle tüm endüstriyel ve tarımsal alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [Sen ve Raut, 2015]. PE mikrobiyal saldırılara dirençli olan en sorunlu plastiktir. Polietilen ürünler toprağa gömülmeden önce 26 gün suni UV ışımaya maruz bırakıldığında 10 yıl sonra ağırlık olarak % 0,5'den az karbon kaybı yaşanır. Önce radyasyona maruz bırakılmaksızın, % 0,2'den az karbon dioksit üretilir. Aynı şekilde polietilen bir tabaka 12 yıl nemli toprak ile temas ettiğinde biyolojik tahribat olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte bazı çalışmalar kısa zaman aralığında PE'nin kısmi olarak biyobozunduğunu göstermiştir. Biyotik bir ortama maruz kalmadan önce polietilenin UV foto-oksidasyonu, ısı oksidasyonu veya nitrik asit ile kimyasal oksidasyonunun biyolojik bozunmayı arttırdığını göstermiştir [Leja ve Lewandowicz 2010; Ardisson vd., 2014; Jeon vd., 2021; Khandare vd., 2021; Ghatge vd., 2020].

Biyolojik bozunmayı ölçmek için test yöntemleri respirometriye dayanmaktadır [Mohee vd., 2008; , Ardisson vd., 2014; Grima vd., 2001]. Respirometrik test yöntemleri, reaksiyonun (CO₂) yalnızca bir karbonik ürününü değerlendirebilir. Biyobozunma sırasında üretilen biyokütleyi (C_{biyokütle}) veya yan ürünleri (C_{kalıntı}) belirlemek için henüz güvenilir yöntemler mevcut değildir. Bu nedenle, biyokütle ve potansiyel yan ürünler denklemden çıkarılarak %100 kütle dengesine ulaşılması engellenir. Sonuç olarak, plastiklerin tam bir biyolojik bozunması, nadiren tam bir mineralizasyona (yani, plastiklerin CO₂'ye tamamen dönüştürülmesi durumunda beklenen maksimum miktara karşılık gelen bir karbondioksit oluşumuna) yol açacaktır, çünkü en azından kısmen orijinal plastik malzemenin bir kısmı anaerobik biyokimyasal yolların bir sonucu olarak biyokütleye dönüştürülecektir. Bu nedenlerle, %90'a eşit veya daha yüksek bir mineralizasyon değeri, bilim topluluğu tarafından tam biyobozunmanın kanıtı olarak kabul edilir [Ardisson vd., 2014].

Daha önceki çalışmada hBN'ün mikro boyutlu tanelerinin kimyasal eksflasyonu ile elde edilen, üstün mekanik ve ısı özelliklere sahip BNNS, polimerlerin bariyer, ısı ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için dolgu maddesi olarak incelenmiştir [Seyhan vd., 2017; Seyhan vd., 2018; Akay vd., 2012; Yurdakul vd., 2012; Seyhan vd., 2011; Yurdakul vd., 2011]. Bu çalışmada daha önce ekstrüzyon yöntemi ile hazırlanmış ve

karakterizasyon testleri yapılmış olan BNNS içeren AYPE nanokompozit filmlerin biyobozunurluk özellikleri incelenmiştir. AYPE'nin biyobozunurluğuna BNNS'nin etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada alçak yoğunluklu polietilen, silan kimyasalı ile muamele edilmiş BNNS tozlarının yüzeylerinin hidrofobik karakteri ile uyumlu olan 2 - hidroksietil metakrilat (HEMA) monomeri ile graft edilmiş, ekstrüzyon yöntemi ile hazırlanmış olan BNNS içeren AYPE nanokompozit filmler kullanılmıştır [Seyhan vd., 2017]. Numuneler, HEMA-graft AYPE (N-1), HEMA-graft AYPE %1 BNNS (N-3), endüstriyel sera naylonu (negatif), nişasta (pozitif) olarak adlandırılmıştır. Deneylerde toprak, hidroklorik asit (HCl) (Sigma-Aldrich,%37'lik), potasyum hidroksit (KOH) (Merck, %85), di amonyum hidrojen fosfat ((NH₄)₂HPO₄) (Merck, ≥%99) ve fenoltalein (Sigma-Aldrich) kullanılmıştır.

2.2. Toprak Hazırlanması

ASTM D 5988-03'e [ASTM D 5988-03] göre çeşitli meyve ve sebze diplerinden, çamlik alandan ve çayırdan olmak üzere üç bölgeden toprak alınarak oda sıcaklığında kurutulmuş, 2 mm'lik elekten elenerek bu üç toprak eşit oranlarda harmanlanmış ve içerisine 25'e 1 oranında (% 4) kompost karıştırılarak toprak hazırlanmıştır. Toprak kullanmadan önce 10 gün buzdolabında bekletilmiştir. Toprağın ASTM D 2974-13 (Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils [ASTM D 2974-13])'e göre nem ve kül tayini, ASTM D 4972-01 (Standard Test Method for pH of Soils [ASTM D 4972-01]) ve ASTM D 5988-03' de belirtilen değerlere göre pH tayini yapılmıştır.

2.3. Kimyasal Analizler

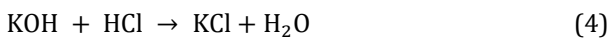
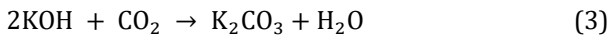
N-1, N-3, sera naylonu, toprak ve nişastanın LECO Truspec CHN cihazı ile elementel analizleri yapılarak karbon oranları bulunmuştur. Numunelerin biyobozunurluk öncesi ve sonrası Bruker-axs D-8 XRD cihazıyla ile 5-60 derece aralığında 2 derece/dk hızla faz analizleri yapılmıştır. FTIR analizleri 600-4000 cm⁻¹ dalga boyu aralığında Bruker Tensor 27 cihazında gerçekleştirilmiştir.

2.4. Biyobozunurluk Analizleri

Biyobozunurluk analizleri ASTM D 5988-03 (Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation in Soil of Plastic Materials After Composting)'e göre

yapılmıştır. ASTM D 5988-03'e göre biyobozunurluk analizi için biyometre erlenleri hazırlanmıştır. Bu erlenlere toprak, toprak+N-1, toprak+N-3, toprak+sera naylonu ve toprak+nişasta biyobozunurluk testleri için hazırlanmıştır, testler üç tekrarlı olarak yapılmıştır. 100 g toprak ve 0,2 g örnek içeren biyometre erlenlerine nem oranı % 65 olacak şekilde saf su ilave edilmiştir. Erlenlerin ağırlıkları kayıt edilip analizler boyunca ağırlık kontrolleri yapıp, gerekli durumlarda saf su ilavesi yapılarak nem oranının sabit kalması sağlanmıştır. Biyobozunurluğun gerçekleşmesi için toprakta di amonyum hidrojen fosfat ((NH₄)₂HPO₄) kullanılarak C:N ayarlaması yapılmıştır. Bunun için pozitif kontrol olan nişastanın yapıtaşı glikoz esas alınmış ve C:N oranının 15:1 olması için gerekli azot miktarı (NH₄)₂HPO₄ çözeltisi eklenerek sağlanmıştır. Biyometre erlenlerinin ikinci bölümüne ise bozunma sırasında açığa çıkacak olan CO₂'i tutması için 20 mL 0,5 N potasyum hidroksit (KOH) çözeltisi eklenerek kapakları kapatılmış ve karanlık bir dolapta beklemeye alınmıştır. Dolap içerisi oda sıcaklığı termometre ile kontrol edilmiştir. Standarda göre olması gereken sıcaklık 20-28 °C aralığındadır. İlk dört hafta iki veya üç günde bir, daha sonra iki hafta haftada bir, daha sonraki iki ölçüm iki haftada bir ve son iki ölçüm üç haftada bir yapılarak numunedeki C içeriğindeki azalma kontrol edilmiştir. Bunun için erlenlerdeki KOH çözeltisinin 3-4 damla fenoltaleinin dönüm noktasına kadar hazırlanmış olan 0,25 N HCl çözeltisi ile titrasyonu yapılmıştır. Analizlere başlarken erlenlerin kapakları açılarak 30-60 dk arasında hava almaları sağlanmıştır. Daha sonra erlenlere yeni 20 mL 0,5 N KOH çözeltisi eklenmiştir.

Bozunma sonucu oluşan CO₂, KOH ile Eşitlik 3'e göre reaksiyona girmektedir. Reaksiyon sonucu potasyum karbonat (K₂CO₃) oluşmaktadır. Reaksiyona girmeden kalan KOH miktarı ise çözeltinin 0,25 N HCl ile titre edilmesi ile Eşitlik 4' e göre belirlenmiştir.



Eşitlik 3 ve 4'den görüldüğü üzere eşit mol KOH ile reaksiyona girme açısından 2 mol HCl 1 mol CO₂' e denk olmaktadır. Bu durumda üretilen CO₂ miktarı Eşitlik 5 ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Oluşan CO}_2 \text{ miktarı (mg)} = \frac{0,25 N \times (Z_t - Z_0) \times 44}{2} \quad (5)$$

Bu eşitlikte, Z_t: titrasyonda toprak için harcanan HCl hacmini (mL), Z₀: titrasyonda örnek + toprak için harcanan HCl hacmini (mL) ifade etmektedir.

Teorik olarak oluşması beklenen CO₂ miktarı ise Eşitlik 6'dan elementel analiz sonuçlarına göre çıkan karbon miktarından hesaplanmıştır.



Biyobozunurluk analizleri sonucu oluşan ve yukarıdaki hesaplamalar dikkate alınarak hesaplanan CO₂ miktarı ve elementel analiz sonucu bulunan teorik CO₂ miktarı birbirine oranlanarak yüzde (%) biyobozunurluk Eşitlik 7' e göre belirlenmiştir.

$$\% \text{Biyobozunurluk} = \frac{\text{Oluşan CO}_2 \text{ Miktarı}}{\text{Teorik CO}_2 \text{ Miktarı}} * 100 \quad (7)$$

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

LECO Truspec CHN cihazı ile yapılan N-1, N-3, negatif, pozitif numunelerin ve toprağın elementel analizlerinin sonuçları Tablo 1'de görülmektedir. Elementel analiz sonucundaki karbon miktarından teorik karbondioksit miktarı hesaplanmıştır. Yapılan analizlerle toprağın nem miktarı %5,6 olarak, kül oranı %1,51 olarak belirlenmiştir. Toprağın pH değeri ise 21,7°C' de 7,62 olarak ölçülmüştür. pH değerinin 6-8 aralığında olması gerekmektedir. Bu pH değerleri dışında mikro organizma ve atipik mikroplar korunur. Analizler için hazırlanan toprak standart değerler aralığında kullanılmıştır.

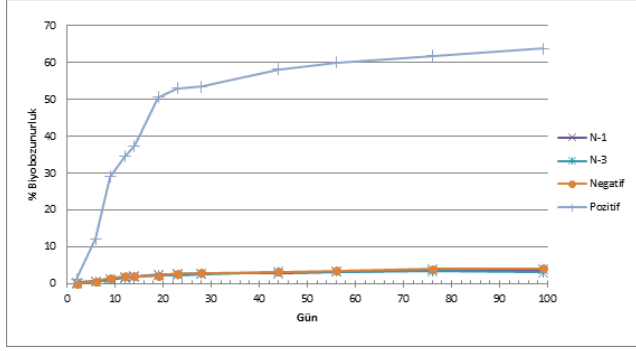
Tablo 1

Numunelerin elementel analiz sonuçları

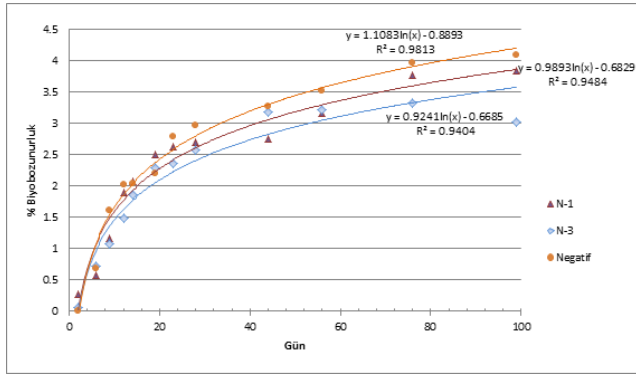
Numune adı	% Azot	% Karbon	% Hidrojen	% Kükürt
N-1	0,225	85,756	12,84	< 0,001
N-3	0,206	84,812	12,931	< 0,001
Negatif	0,049	86,072	13,259	< 0,001
Pozitif	0,267	39,825	6,17	< 0,001
Toprak	0,402	4,558	0,312	< 0,001

Numunelerin ASTM D 5988-03'e göre 2, 6, 9, 12, 14, 19, 23, 28, 44, 56, 76 ve 99. günlerde yapılan biyobozunurluk analizlerinin sonuçları Şekil 1'dedir. Nişastanın biyobozunurluk yüzdesi çok yüksek olduğu için numunelerin biyobozunurluk değerlerinin doğru yorumlanabilmesi amacıyla Şekil 2'de nişasta olmaksızın verilmiştir.

Doksan dokuz gün sonundaki % biyobozunurluk değerleri N-1 numunesinin % 3,85, N-3 numunesinin % 3,02, negatif(sera naylonu) % 4,1 ve pozitif(nişasta) % 63,84 olduğu bulunmuştur (Şekil 3). ASTM D 5988-03'e göre nişastanın biyobozunurluğunun 6 ay(yüzseksen gün) için %70 olması gerekmektedir [ASTM D 5988-03]. Nişastanın doksan dokuz günde biyobozunurluğu % 63,84'e ulaşmıştır. Elli altı günden sonra biyobozunurluğu yaklaşık sabit hız ile devam etmektedir. Dolayısıyla bu varsayımla altı ay sonunda nişastanın biyobozunurluğunun %70'e ulaşacağı beklenmektedir.

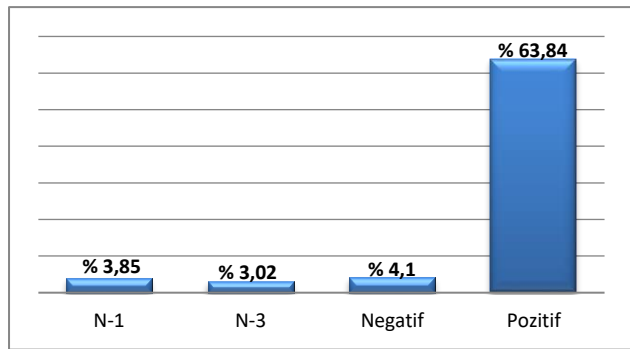


Şekil 1. Numunelerin biyobozunurluk analiz sonuçları



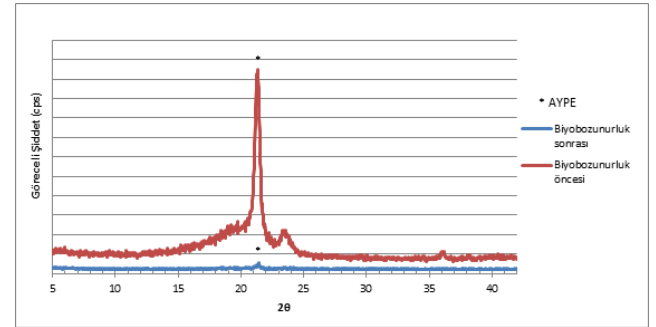
Şekil 2. N-1, N-3 ve negatif numunelerin biyobozunurluk analiz sonuçları

Şekil 3'deki numunelerin toplam % biyobozunurluk sonuçlarına göre N-3'ün biyobozunurluğunun N-1'e göre 0,83, sera naylonuna göre 0,99 daha az olduğu görülmektedir. %1 BNNS takviyesinin alçak yoğunluklu polietilenin biyobozunurluğunu biraz düşürdüğü tespit edilmiştir. Biyobozunur polimerlerde de BNNS ilavesi ile daha homojen bir yapı ve fiziksel özellikleri iyileştirmiş olmasından dolayı biyobozunurluğun azalacağı bildirilmiştir [Behera vd., 2021]. Bulunan sonuç da bu değerlendirmeyi desteklemektedir.

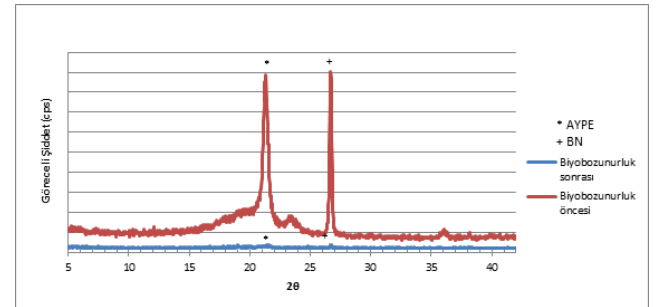


Şekil 3. Numunelerin toplam % biyobozunurluk sonuçları

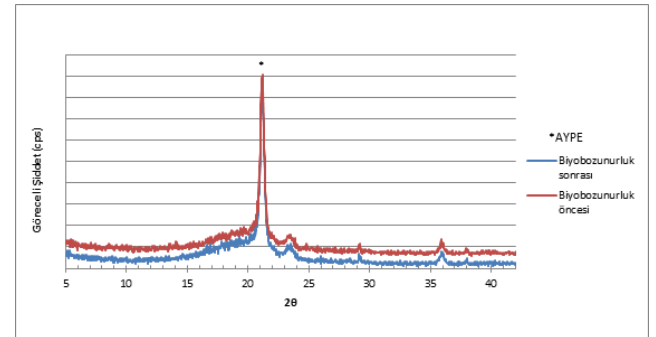
Biyobozunurluk öncesi ve sonrası Şekil 4'de N-1, Şekil 5'de N-3 ve Şekil 6'da negatif numunenin XRD sonuçları yer almaktadır. Numunelerde AYPE'ye karşılık gelen $2\theta = 21.32^\circ, 23.54^\circ, 29.54^\circ$ ve 36.11° 'de kristal bölgelerin pikleri (JCPDS PDF No:00-040-1995) ile ayrıca amorf bölge 15 ile 25° derece 2θ arasında görülmektedir yarı kristal bir yapı gösterir [Barabaszová vd., 2020]. Şekil 5'de AYPE ana pikinin yanında $26,76^\circ$ derecede hBN (JCPDS PDF No:00-034-0421) piki yer almaktadır. Şekil 6'da sera naylonunda da AYPE pikleri mevcuttur.



Şekil 4. N-1 numunesi biyobozunurluk öncesi ve sonrası XRD sonuçları



Şekil 5. N-3 numunesi biyobozunurluk öncesi ve sonrası XRD sonuçları



Şekil 6. Negatifin biyobozunurluk öncesi ve sonrası XRD sonuçları

N-1 numunesinde biyobozunurluk sonrası AYPE piki mevcut olmasına rağmen pik şiddetinde çok büyük

azalma gözlenmektedir, en büyük pikin şiddeti 1000 cps'den 35 cps'e düşmüştür. AYPE pikindeki azalmanın nedeninin polimer yapısındaki değişimden kaynaklanmaktadır. Polimer yapısının değişiminin sebebi ise kompost karışımından gelen mikroorganizmaların sebep olduğu düşünülmektedir. Esmaeili vd. (2013)'nin yaptıkları çalışmada da içerisine mikroorganizmaların bulunduğu numunelerde pik şiddetinde önemli derecede azalma tespit etmişlerdir [Esmaeili vd., 2013]. N-3 numunesinde AYPE piki 837 cps değerinden 17 cps değerine ve hBN piki 855 cps değerinden 17 cps değerine azalmıştır. N-3 numunesinde biyobozunurluk sonrası hBN pik şiddetinde de çok büyük azalma olmuştur. BN pikindeki azalmanın sebebinin ise polimer yapısının bozunması ile yapı içinde yer alan BNNS'lerin polimerle bağlarının kopması sonucu toprağa karışmış olabileceği, dolayısıyla kompozit PE filmlerin BNNS miktarlarında azalma XRD pik şiddetlerinin değişmesine neden olduğu düşünülmüştür. Sera naylonunun AYPE pik şiddetlerinde biyobozunurluk öncesi ve sonrası değişimin çok fazla olmadığı belirlenmiştir (Şekil 6). Pik şiddetlerinde azalmanın tespit edilmemiş olması muhtemel olarak üretim koşulları arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Bu sonuç sera naylonunun doğada çok uzun yıllar kalacağı ve kirlilik oluşturacağına kanıttır.

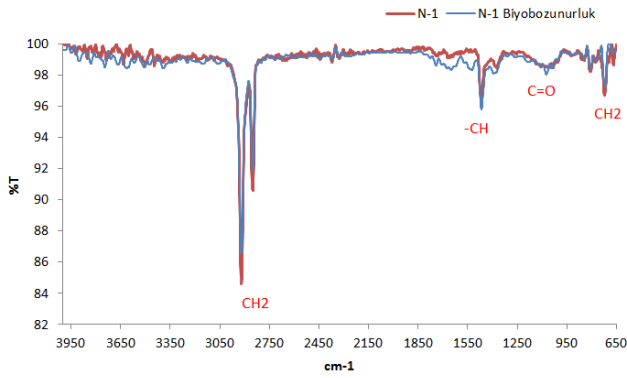
Numunelerin normal atmosfer koşulları altında gerçekleştirilen FTIR analizi sonuçları Şekil 7'de yer almaktadır. FTIR grafiklerinde biyobozunurluk öncesi numuneler kırmızı biyobozunurluk sonrası numuneler mavi çizgi ile işaretlenmiştir. AYPE tekrar eden -CH₂-birimleri zincirlerini oluşturan karbon (C) ve hidrojen (H) elementlerinden oluşmaktadır [Yin 2012].

Tüm numunelerde yaklaşık olarak güçlü 2919 cm⁻¹ asimetric CH₂ ve 2840 cm⁻¹ simetric CH₂ gerilme titreşimleri gözlemlendi [Yin 2012; Ramkumaar vd., 2009; Arslan ve Dilsiz 2020; Sridharan vd., 2021; Şkipina vd., 2018; El-Sayed vd., 2021]. Saf AYPE karakteristik olarak 1460 cm⁻¹ ve 720 cm⁻¹'de pik yapar. 1467 cm⁻¹'deki zirveler asimetric deformasyon CH bükülmesine ve 720 cm⁻¹ civarında meydana gelen keskin pik CH₂'ye karşılık gelen sallanma deformasyonuna aittir. Asimetric eğilme nedeniyle CH deformasyonu gösteren pik yaklaşık 1370 cm⁻¹'de görülmektedir [Ramkumaar vd., 2009; Arslan ve Dilsiz 2020]. Bu pikler, polimerde bulunan doğal bağlara karşılık gelmektedir. Polietilen çalışmalarında 1020-1120 cm⁻¹ aralığında gözlenen pikler C=O gerilmesi ile ilişkilendirilmiştir [Yin 2012; Sridharan vd., 2021]. Ortamdaki nem olan OH gerilmesinin neden olduğu pikler 3100 cm⁻¹'den sonra oluşan piklerde görülmüştür [Arslan ve Dilsiz 2020; Şkipina vd., 2018]. Literatürde BN için B-N gerilme titreşimleri 1390-1400 cm⁻¹'deki tepe noktası, 790-820cm⁻¹'de bulunan diğer pik B-N-B eğilme titreşimlerine atfedilmiştir [Gao ve Li 2003; Besisaa Dina vd., 2016; Berchmans vd., 2009; Shi vd., 2010]. Şekil 7.b'de BNNS takviyeli polietilene ait

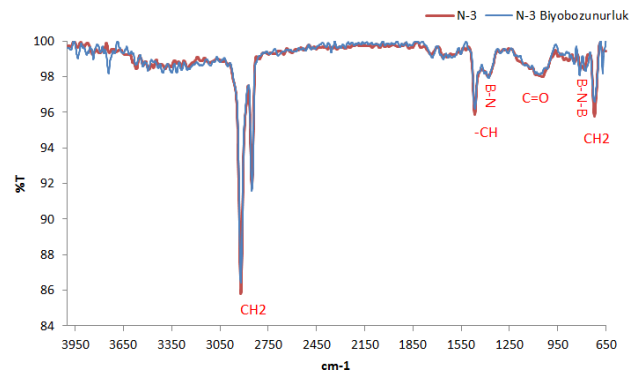
FTIR sonuçları incelendiğinde 790 cm⁻¹'de B-N-B piki görülmektedir. B-N gerilme piki ise 1392 cm⁻¹'de yer almaktadır. Biyobozunurluk öncesi ve sonrası FTIR sonuçları karşılaştırıldığında mikroorganizmaların etkisiyle C=O gruplarının oluşması ve biyolojik bozunmadan kaynaklanan OH grupları içeren oksitlenmiş parçalardan dolayı yeni dalga boylarında bantlar oluşmuştur [Esmaeili vd., 2013; Sridharan vd., 2021]. Ayrıca literatürde AYPE FTIR spektrumlarında 1700 ve 1650 cm⁻¹'de yeni zirvelerin görünümünü biyolojik bozunmasının ara ürünleri olan aldehitlerin ve ketonların oluşumuna atfedilmiştir. 1142 ve 916 cm⁻¹'deki değişiklikler ise C-O-H, C-O-C, C-O, PO₂-, C-C ve C-H (alken) bozunması için atanmıştır [El-Sayed vd., 2021]. BNNS takviyeli olan numunede yeni pik oluşumları daha az görülmektedir (Şekil 7.c). Bu polimerin daha homojen ve dayanıklı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlara göre BNNS içeren alçak yoğunluklu polietilen polimerlerin kullanım ömrünün uzayacağı söylenebilir. Üretim tekniği bilinmeyen negatif numune hariç biyobozunurluk sonrası AYPE pik şiddetlerinde bağlardaki bozulmalardan dolayı azalma görülmektedir [Esmaeili vd., 2013]. Bu değişimlerin yukarıda da açıklandığı üzere aerobik koşullar altında polimer biyobozunması sırasında, CO₂ ve H₂O yan ürünlerinin salınımı ve polimerlerin basit monomerlere ve oligomerlere dönüştürülmesiyle ve ayrıca bakteri hücreleri tarafından yeni basit bileşiklerin ortaya çıkmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [Khandare vd., 2021].

4. Sonuç

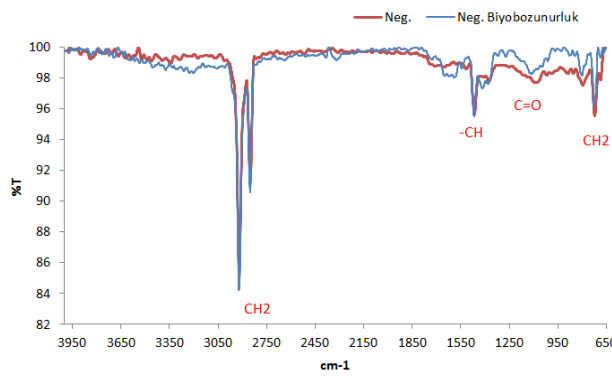
Yapılan biyobozunurluk testlerine göre termoplastik polimerlerin ekstrüzyon tekniği ile üretiminde, ergime kırılması ve akışkan kararsızlığını önlemek için kullanımları yaygınlaşan hBN'ün kullanılmasının biyobozunurluğu azda olsa azalttığı görülmüştür. Biyobozunurluk sonuçlarına göre %1 BNNS takviyeli AYPE'nin biyobozunurluğunun BNNS takviyesiz AYPE'ye göre %0,83, sera naylonuna göre %0,99 daha az olduğu tespit edilmiştir. Biyobozunurluk sonrası AYPE piki mevcut olmasına rağmen pik şiddetinde büyük bir azalma gözlenmiştir. FTIR ile mikroorganizmaların etkisiyle C=O gruplarının oluştuğu ve biyolojik bozunmadan kaynaklanan OH grupları içeren oksitlenmiş parçalardan dolayı yeni dalga boylarında bant oluşumları belirlenmiştir. BNNS takviyeli olan numunede yeni pik oluşumları daha az görülmektedir. hBN'ün mikro boyutlu tanelerinin kimyasal eksfloasyonu ile elde edilen, üstün mekanik ve ısı özelliklerine sahip BNNS'ün alçak yoğunluklu polietilen polimerlerin bariyer, ısı ve mekanik özelliklerini iyileştirmek ve daha uzun kullanım ömrüne sahip olacakları için dolgu maddesi olarak kullanımının mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



a)



b)



c)

Şekil 7. Numunelerin biyobozunurluk öncesi ve sonrası FTIR analiz sonuçları a) N-1 b) N-3 c) Negatif

Teşekkür

Yazarlar, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma projesi no 1306F175 ile bu çalışmasının yapılmasına destekleri için Anadolu Üniversitesine teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- Ali M., Abdala A., Large scale synthesis of hexagonal boron nitride nanosheets and their use in thermally conductive polyethylene nanocomposites. *Int.J. Energy Res.*, 1–14, 2021.
- Akay A., Durukan, O., Göncü, Y., Seyhan, A.T., Ay, N., "Hexagonal boron nitride filled polymer nanofibers producing and characterization via electrospinning technique" *Usak University Journal of Material Sciences* 1, 35 – 41, 2012 .
- Ardisson G.B., Tosin M., Barbale M., Degli-Innocenti F., Biodegradation of plastics in soil and effects on

nitrification activity. A laboratory approach, *Frontiers in Microbiology*, 710,1-7,2014.

Arslan F., Dilsiz N. Flame resistant properties of LDPE/PLA blends containing halogen-free flame retardant, *J. Appl. Polym. Sci.* 2020, DOI: 10.1002/APP.48960,1-13.

ASTM D 5988-03 , Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation in Soil of Plastic Materials After Composting.

ASTM D 2974-13, Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils.

ASTM D 4972-01, Standard Test Method for pH of Soils.

Ay N., Göncü Y., Ay G.M., Bor Nitrür, Bor ve Malzeme Bilimi, Boren yayınları, 2020.

Balmain, W.H. Bemerkungen über die bildung von verbindungen des Bors und Siliciums mit Stickstoff und gewissen metallen. *J. Prakt. Chem.*, 27, 422–430,1842.

Barabaszová K.C., Holešová S., Hundáková M., Kalendová A., Tribo-Mechanical Properties of the Antimicrobial Low-Density Polyethylene (LDPE) Nanocomposite

- with Hybrid ZnO-Vermiculite-Chlorhexidine Nanofillers, *Polymers*, 12(12), 2811, 2020.
- Barra A., Ferreira N.M., Martins M.A., Lazar O., Pantazi A., Jderu A.A., Nunes C., Eco-friendly preparation of electrically conductive chitosan-reduced graphene oxide flexible bionanocomposites for food packaging and biological applications, *Compos. Sci. Tec.* 173, 53-60, 2019.
- Behera K., Kumari M., Chang Y.H., Chiu F.C., Chitosan/boron nitride nanobiocomposite films with improved properties for active food packaging applications, *International Journal of Biological Macromolecules* 186, 135-144, 2021.
- Berchmans L. J., Bharathi B., Amalajyothi K., Subramanian K., Synthesis of nanocrystalline boron nitride by combustion process, *Int. J. of Self-Propagating High-Temperature Synthesis*, Vol. 18, 34-37, 2009.
- Besisa Dina H.A., Hagraa Mahmoud A. A., Ewaisa Emad M.M., Ahmeda Yasser M. Z., Zakia Zaki I., Ahmed A., Low temperature synthesis of nano-crystalline h-boron nitride from boric acid/urea precursors, *J.Ceram. Process. Res.* vol. 17, 1219-1225, 2016.
- El-Sayed MT., Rabie GH., Hamed EA., Biodegradation of low density polyethylene (LDPE) using the mixed culture of *Aspergillus carbonarius* and *A. fumigates*. s.l. : *Environment, Development and Sustainability* , 23:14556-14584, 2021.
- Esmaili A., Pourbabaee1 A.A., Alikhani H. A., Shabani F., Esmaili E., Biodegradation of Low-Density Polyethylene (LDPE) by Mixed Culture of *Lysinibacillus xylanilyticus* and *Aspergillus niger* in Soil, *PLoS ONE* 8(9): e71720. doi:10.1371/journal.pone.00717,2013.
- Gao, L., Li,J., Preparation of Nanostructured Hexagonal Boron Nitride Powder. s.l. : *J. Am. Ceram. Soc.*, 86, 1982-84, 2003.
- Ghatge S., Yang Y., Ahn J.H., Hur H.G. Biodegradation of polyethylene: a briefs., Ghatge et al. *Appl Biol Chem*,63:27,2-14,2020.
- Grima S., Bellon-Maurel V., Silvestre F., Feuilloley P., A New Test Method for Determining Biodegradation of Plastic Material Under Controlled Aerobic Conditions in a Soil-Simulation Solid Environment, *Journal of Polymers and the Environment*, 9, 39-48, 2001.
- Hatzikiriakos S. G., Rathod N., Boron nitride based processing aids , *Korea-Australia Rheology Journal* Vol. 15, No. 4, ,173-178, 2003.
- Jeon J.-M., Park S.-J., Choi T.-R., Park J.-H., Yang Y.-H., Yoon J.-J., Biodegradation of polyethylene and polypropylene by *Lysinibacillus* species JY0216 isolated from soil grove. *Polymer Degradation and Stability* 191, 1-8, 2021.
- Joy J., George.E., Haritha P., Thomas S., Anas S.. An overview of boron nitride based polymer nanocomposites. *J Polym Sci.* 58, 3115-3141, 2020.
- Katatchlow I.B., Yip F., Hatzikiriakos S. K., The effect of boron nitride on the rheology and processing of polyolefins, *Rheol açta*, 39, 583-594, 2000.
- Khandare S.D., Chaudhary D.R., Jha B., Marine bacterial biodegradation of low-density polyethylene (LDPE) plastic, *Biodegradation*, 32,127-143, 2021.
- Lakshmi M.S., Narmadha B., Reddy B.S.R., Enhanced thermal stability and structural characteristics of different MMT-Clay/epoxy-nanocomposite materials, *Polymer Degradation and Stability* 93, 201-213, 2008.
- Leja K., Lewandowicz G., *Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers –a Review*, *Polish J. of Environ. Stud.*, 19, 255-266, 2010.
- Mohee R., Unmar G.D., Mudhoo A., Khadoo P., Biodegradability of biodegradable/degradable plastic materials under aerobic and anaerobic conditions, *Waste Management* 28, 1624-1629, 2008.
- Nowak B., Pająk J., Karcz J., Biodegradation of Pre-Aged Modified Polyethylene Films, *InTech*, 32, 643-670 , 2012 .
- Okan B.S., Fabrication of multilayer graphene oxide-reinforced high density polyethylene nanocomposites with enhanced thermal and mechanical properties via thermokinetic mixing, *Turkish Journal of Chemistry*, 41: 381 – 390, 2017.
- Özbelge H.Ö., Katircioğlu B., Atılgan İ., Özkol E., Anutgan T.A., Anutgan M., Bor Nitrid Üretimi. Ankara: Tübitak Proje, 2008.
- Ramkumaar G.R., Charles J. Qualitative Analysis of High Density Polyethylene Using FTIR Spectroscopy. s.l. : *Asian Journal of Chemistry* Vol. 21, No. 6, 4477-4484, 2009.
- Rathod N., Hatzikiriakos S.G., The effect of surface energy of boron nitride on polymer processability, *Polymer Engineering And Science*,44,1543-1550, 2004.
- Rudeekit Y., Comparative Degradation of Biodegradable Plastics by Aerobic Microorganism Using ASTM D 5338-98(03) and ASTM D 5988-03 as Standard Methods, *Thailand Materials Science and Technology Conference*, pp10, 2006.
- Sen S.K., Raut S., Microbial degradation of low density polyethylene (LDPE): A review, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol. 3, No.1, 462-473, 2015.

- Seth M., Hatzikiriakos S. G., Combining Boron Nitride with a Fluoroelastomers: An Enhanced Polymer Processing Additive, *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 7, 90-97, 2001.
- Seyhan A. T., Yurdakul H., Ay N., Turan S., An Advanced Microscopy Study on the Two-Dimensional (2D) Boron Nitride Nano Sheets (BNNs) Produced via Novel Microfluidization Technique, Conference: FEMMS 2011, *Frontiers of Electron Microscopy in Materials Sc.*, 2011.
- Seyhan A.T., Göncü Y., Durukan O., Akay A., Ay N., Silanization of boron nitride nanosheets (BNNs) through microfluidization and their use for producing thermally conductive and electrically insulating polymer nanocomposites, *Journal of Solid State Chemistry*, 249, 98-107, 2017.
- Seyhan A.T., Tuna A., Durukan O., Göncü Y., Turan S., and Ay N., Creep and recovery behaviors of chemically induced grafted low density polyethylene films containing silanized hexagonal boron nitride nanosheets, *Materials Express*, 8, 1, 2018.
- Shan H., Zeng C., Zhao C., Zhan H., Iron oxides decorated graphene oxide/chitosan composite beads for enhanced Cr(VI) removal from aqueous solution, *Inter. J. Biol. Macromol.* 172, 197-209, 2021.
- Shi X., Wang S., Yang H., Duan X., Dong X., Fabrication and characterization of hexagonal boron nitride powder by spraydrying and calcining- nitriding technology. *Jour.of Solid State Chem.*, 181, 2274-2278, 2008.
- Shi, Y., Hamsen, C., Jia, X., Kim, Ki K., Reina, A., Hofmann, M., Hsu, A.L., Zhang, Ki, Li, H., Yu Juang, Z., Dresselhaus, M. S., Jong Li, L., Kong, J. Synthesis of Few-Layer Hexagonal Boron Synthesis of Few-Layer Hexagonal Boron Deposition. s.l. s.l. : American Chemical Society, *Nano Lett.* 10, 4134-4139, 2010.
- Škipina B., Kukrić Z., Milošević M., Luytand A.S., Duško D., Enhancement of the surface dielectric and photodielectric properties of low density Polyethylene By Adding Emodin. *Contemporary Materials*, IX-1,96- 105, 2018.
- Sridharan R., Krishnaswamy V.G., Kumar P.S. Analysis and microbial degradation of Low-Density Polyethylene (LDPE) in Winogradsky column. *Environmental Research* 201, 111646,1-5, 2021.
- Tokiwa Y., Calabia B.P., Ugwu C.U., Aiba S., Biodegradability of Plastics, *International Journal of Molecular Sciences*, 10, 3722-3742, 2009.
- Wang W., Li Z., Marsden A.J., Bissett M. A., Young R. J.. Mechanisms of reinforcement of PVA-Based nanocomposites by hBN nanosheets. *Composites Science and Technology*, 1-8, 2021.
- Xu P.P, Zhang S.M., Huang H.D, Xu L., Zhong G.J., Li Z.M., Highly Efficient Three-Dimensional Gas Barrier Network for Biodegradable Nanocomposite Films at Extremely Low Loading Levels of Graphene Oxide Nanosheets. *Ind. Eng. Chem. Res.* 59, 13, 5818-5827, 2020.
- Yin L. S., A novel FTIR-ATR spectroscopy based technique for the estimation of low-density polyethylene biodegradation. Heera Rajandas, Sivachandran Parimannan, Kathiresan Sathasivam, Manickam Ravichandran, s.l. : *Polymer Testing*, 31, 1094-1099, 2012.
- Yurdakul H., Göncü Y., Durukan O., Akay A., Seyhan A.T., Ay N., Turan S., Mikroislemci Dağıtıcı ile Ayrılmış iki Boyutlu (2-D) Bor Nitrür Nano Tabakalarının (BNNs) Nanoskopik Kanıtı”, 20. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi, 25-28 Ekim 2011 Antalya.
- Yurdakul H., Göncü Y., Durukan O., Akay A., Seyhan A.T., Ay N., Turan S., Nanoscopic characterization of two-dimensional (2D) boron nitridenanosheets (BNNs) produced by microfluidization, *Ceramics International* 38, pp. 2187-2193, 2012.

NUMERICAL INVESTIGATION OF RC TUNNEL SEGMENTS SUBJECTED TO ELEVATED TEMPERATURE VIA FEM

Tolga YILMAZ^{1*}, Uğurhan AKYÜZ²

¹ Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, Konya, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-7668-1496>

² Middle East Technical University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Ankara, Turkey, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-1210-8142>

Keywords

Tunnel segments
Finite element method
Numerical analysis
Elevated temperature

Abstract

There has been increasing concern about the fire-resistant design of reinforced concrete tunnel lines among structural engineers due to the fire incidents that occurred recently. A limited number of experimental works focused on the fire behavior of the conventional reinforced concrete (RC) and hybrid fiber reinforced concrete (HFRC) tunnel segments have been presented in the literature. However, there is no comprehensive numerical study related to RC shield tunnel segments under the effect of elevated temperature. Thus, this study intends to establish a 3D finite element model (FEM) for the evaluation of the fire behavior of RC shield tunnel segments. At the first stage of the presented FEM, the temperature distribution that occurred in the RC tunnel segment was evaluated with a heat transfer analysis carried out. In the second stage, the stress analysis was conducted to calculate the load-displacement behavior of the RC tunnel segment under the combined effect of the gravity load and the elevated temperature. The results obtained from the FEM were compared with an experimental work existing in the literature. The fact that numerical analysis is compatible with experimental results proves that the presented FEM can be used in the determination of the behavior of RC shield tunnel segments subjected to elevated temperature.

ARTAN SICAKLIK ETKİSİNDEKİ BETONARME TÜNEL SEGMANLARININ SEM İLE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Anahtar Kelimeler

Tünel segmanları
Sonlu elemanlar yöntemi
Nümerik analiz
Sıcaklık artışı

Öz

Son zamanlarda meydana gelen yangın olayları nedeniyle yapı mühendisleri arasında betonarme tünel hatlarının yangına dayanıklı tasarımına ilgi giderek artmaktadır. Literatürde geleneksel betonarme (RC) ve hibrit fiber donatılı beton (HFRC) tünel segmanlarının yangın davranışına odaklanan sınırlı sayıda deneysel çalışma sunulmuştur. Ancak, yüksek sıcaklık etkisindeki RC kalkan tünel segmanları ile ilgili kapsamlı bir sayısal çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışma, RC kalkan tünel segmanlarının yangın davranışının değerlendirilmesi için bir 3B sonlu eleman modeli (SEM) oluşturmayı amaçlamaktadır. Sunulan SEM'in ilk aşamasında, RC tünel segmentinde meydana gelen sıcaklık dağılımı, gerçekleştirilen ısı transferi analizi ile değerlendirilmiştir. İkinci aşamada, düşey yük ve artan sıcaklığın birleşik etkisi altında RC tünel segmentinin yük-deplasman davranışını hesaplamak için gerilme analizi yapılmıştır. SEM'den elde edilen sonuçlar literatürde yer alan deneysel bir çalışma ile karşılaştırılmıştır. Sayısal analizin deneysel sonuçlarla uyumlu olması, sunulan FEM'in yüksek sıcaklığa maruz RC kalkan tünel segmanlarının davranışının belirlenmesi için kullanılabileceğini göstermiştir.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 18.04.2022

: 07.06.2022

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 18.04.2022

: 07.06.2022

* Corresponding author; e-mail : tyilmaz@ktun.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

The fire-resistant design of the tunnel lines has gained importance due to several significant tunnel fire incidents which occurred worldwide including the Great Belt Tunnel (Denmark, 1994), the Channel Tunnel (England–France, 1996), the Mount Blanc Tunnel (France–Italy, 1999), and the St. Gothard Tunnel (Switzerland, 2001). The major tunnel fire incidents caused injuries to people, non-functionalized facilities, and damage to the concrete lining, by affecting negatively structural adequacy in the past. It should be considered that there is also a significant economic impact since the tunnel becomes close during the restoration works (Guerrieri, Sanabria, Lee, Pazmino and Patel, 2020). The maximum temperature, quick heating rate, long duration, and temperature gradient with non-uniform are characteristics of the tunnel fire. Therefore, tunnel linings may experience severe damage and complex failures with the effect of the tunnel fire. In addition to the deterioration observed in the strength properties of concrete due to the high temperature, severe concrete spalling is also a major issue to be considered for the safety of the concrete tunnel lines in case of tunnel fires. Besides, for a metro shield tunnel lining constructed Tunnel Boring Machine (TBM) technique, the configuration and joint connections of the shield lining segments may lead to further complexities (Yan, Shen, Zhu, Li and Lu, 2015).

The recommendations and requirements that are related to tunnel linings' fire safety have existed in some guidelines and specifications (International Tunnelling and Underground Space Association (ITA), Guidelines for structural fire resistance for road tunnels, 2005; European Committee for Standardization (CEN) Eurocode 1: actions on structures, EN 1991-1-2, 2002; National Fire Protection Association (NFPA), NFPA 502 standard for road tunnels, bridges, and other limited-access highways, NFPA 502, 1998). The issues such as the damage to tunnel lining due to fire, the measurement of fire protection, and the rehabilitation process of damaged tunnel lining have been studied and documented in The European EUREKA program and The European UPTUN project (NFPA 502, 1998; Haack, 1992; Haack, 1998; Lönnermark, 2005). For unload state, the isolated K segment belonging to a TBM tunnel has been investigated by Caner and Böncü (2009) with the hydrocarbon fire experiments conducted. It is found that under the effect of the hydrocarbon fire, the safety factor deviation of the TBM tunnel increased from soft soil to stiff soil conditions while the tunnel exhibited more flexible behavior. Yasuda and Ono (2004) carried out an experimental program to investigate the measurement of the fire protection for composite TBM tunnel segments subjected to a RABT fire curve. Test results unveiled that when the fire protection is not

applied on the surface, the concrete spalling attained up to 60 mm. In the experimental work of Yan, Zhu, Ju and Ding (2012), the fire behavior of the full-scale reinforced concrete (RC) TBM tunnel linings have been examined. Based on the ISO834 protocol, heating durations of 45 90 minutes were applied to the RC TBM tunnel linings. At the end of the experiments, it is found that severe concrete explosive spalling and the decrease in the elastic modulus and strength belonging to the joint bolt occur with the effect of high temperatures. Therefore, it is determined that the tunnel lining joints' flexural stiffness considerably decreased. The coupled thermo-mechanical actions led to a significant increase in the opening angles and the gaps, which exist in the tunnel lining joints. Furthermore, it is concluded that the temperature of the reinforcement on the heated side could go beyond the failure temperature under the ISO834 fire test with a duration of 90 minutes. Hua, Khorasani, Tessari and Ranade (2022) investigated experimentally the effects of concrete composition, polypropylene fiber additions, the structural constraint level, and fire characteristics on the fire performance of RC tunnel slabs. There are limited numbers of works where the full-scale tunnel linings are tested under the combined effects of the structural load and fire by considering the actual boundary conditions and the conditioning which correspond to design assumptions (Guerrieri et al., 2020; Siemon and J. Zehfuß, 2017; Richter, 2005; Kaundinya, Dehn, Nause and Juknat, 2009; Boxheimer, Knitl and Dehn, 2009). Alhawat, Hamid, Baharom, Azmi, and Kaish (2021) studied the fire performance of the unloaded tunnel rings with different mixed designs through extensive full-scale tests. Numerical studies related to the behavior of RC structural elements exposed the fire have been also presented in the literature (Gao, Dai, Teng and Chen, 2013; Hajiloo and Green, 2018; Pagani, Bocciarelli, Carvelli and Pisani (2014); Dai, Gao and Teng, 2015). Jiang, Orabi, Jiang and Usmani (2021) developed a novel FEM code where a thermo-mechanical nonlinear shell element and a plane-stress formulation of the concrete damage-plasticity material were utilized. Shen, Zhu, Yan, Zhou and Lu (2021) introduced a semi-analytical thermo-mechanical model for segmental joints exposed to fire. To assess the heating and cooling behavior of the RC tunnel slabs, the FEM model has been developed by Hua, Khorasani, and Tessari (2022).

The main motivation of the present study is to develop a novel 3D finite element model (FEM) that can be utilized for the evaluation of the RC shield tunnel segments subjected to the combined effect of mechanical loading and elevated temperature. The proposed FEM was verified by a previous experimental study presented by Yan et al. (2015). With the comparison of numerical and test results, it has been deduced that the developed FEM

can be safely used for the evaluation of the temperature distribution and the load-deflection behavior of the mechanically loaded RC shield tunnel segments subjected to fire.

2. Overview of Experimental Study Used for the Verification of the FE model

The verification of the present FEM has been carried out using the results obtained from the study presented by Yan et al. (2015). This study has provided useful experimental data related to the thermo-mechanical performance of both RC and hybrid reinforced concrete (HFRC) shield TBM tunnel segments with consideration of various boundary and loading conditions. In the scope of the test program, the test specimens have been designed and manufactured at a scale factor of 1/3 concerning the full-size lining units. The width, thickness, and average radius of the test specimens are 300 mm, 120 mm, and 990 mm, respectively. Besides, the details existing in the real metro TBM tunnel line like hand holes, circumferential tongues, and grooves were also manufactured in the test specimens. The concrete cover thickness was 15 mm. The geometrical dimensions and reinforcement details were given in Figure 1 (Yan et al., 2015).

The concrete compressive strength of the standard cubic samples measured on the 28th day under the ambient temperature conditions was 69.8 MPa. The elastic modulus and the tensile strength of first-grade steel reinforcement are 206 GPa and 300 MPa, respectively. A gas temperature is a unit of °C. The experimental program has been carried out using the test setup which enables testing tunnel lining segments under the effect of various combinations of static loading and elevated temperatures. The test setup is composed of a furnace with two combustors that are industrial-grade and a mechanical loading frame. The specific heating-up history can be defined through a programmable system controlling the furnace. In the experimental program, the Eurocode HC curve (Eurocode 1, 2002) was used for modeling the heating phase and it can be expressed as follows: (Gao et al., 2013):

$$T = 20 + 1080(1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675e^{-2.5t}) \tag{1}$$

where t shows time in units of minutes, and T refers to the furnace gas temperature in °C. The overall test setup and the insulated tunnel segment placed above the furnace were depicted in Figure 2 (Yan et al., 2015). Two insulation panels were placed on the two opposite sides of the RC tunnel segment, and also the ceramic fibers filled the gaps between specimen and panels to achieve one face heating uniformly.

In the conducted test program, the external pressure load exerted by surrounding soil has been represented with two-point loads acting on one-third of the RC tunnel segment span. Besides, since a segment constituting a tunnel shield ring may be exposed to positive or negative moments in the service period depending on its location, these effects have been considered in the experimental program by applying the horizontal loads to two ends of the RC tunnel segment through the horizontal activators. Therefore, in the experimental program, three different boundary conditions such as the free sliding, the no sliding, and the case aiming to generate a negative moment occurring at the central section of the RC segment have been generated by applying no horizontal load or the controlled horizontal loads.

Furthermore, in the scope of the experimental program, four different patterns of mechanical and fire loading, which are named ambient temperature, post-fire, under-fire, and heating to failure, have been considered. In the ambient temperature test, the RC tunnel segment is tested under the vertical load without a fire effect. The post-fire test has focused on the residual strength of the RC tunnel segment after its exposure to fire. In this combination, the RC tunnel segment loaded up to its service load level was subjected to a heating and cooling

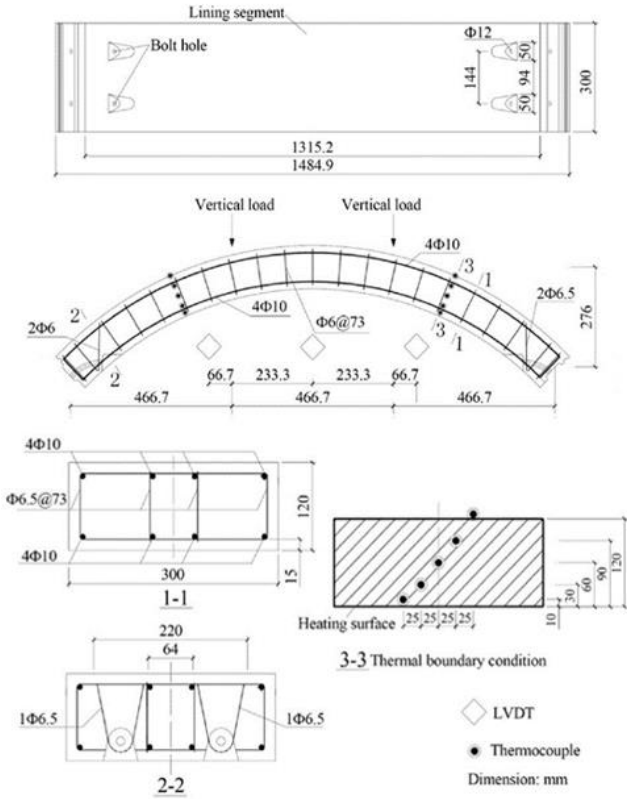


Figure 1. The geometrical dimensions and rebar details of the RC tunnel segment (Yan et al., 2015)

cycle considering the Eurocode HC curve, and then the RC tunnel segment was tested under the effect of the vertical mechanical load until the failure to specify the ultimate strength of the RC tunnel segment after the fire. In the under-fire test, the RC tunnel segment without any initial mechanical load was subjected to the heating for 40 minutes, and then it was statically loaded to examine the ultimate strength.

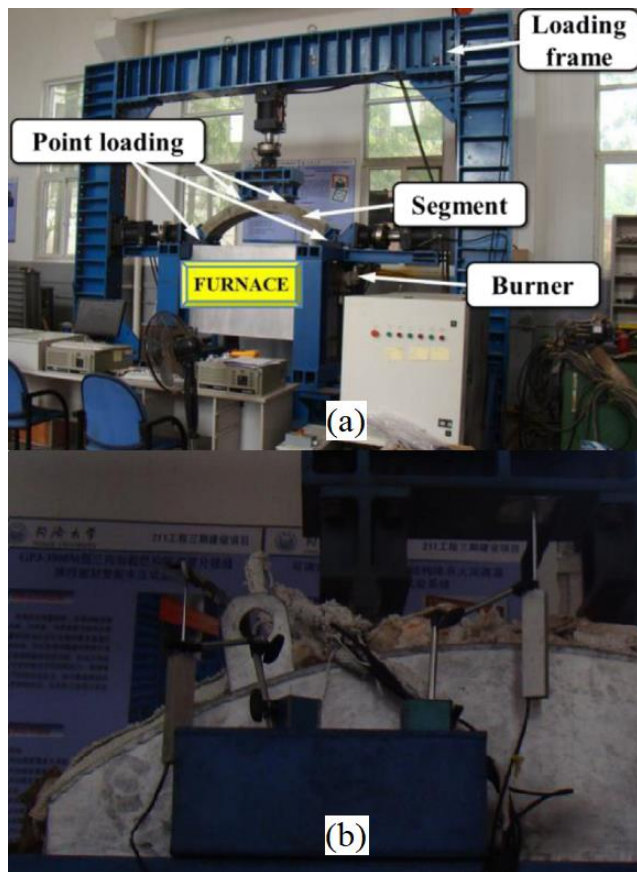


Figure 2. (a) The overall test setup (b) the insulated tunnel segment placed the above the furnace (Yan et al., 2015)

In the heating to failure test, which was used for verification of the numerical model, first, the RC tunnel segment was mechanically loaded up to 80% of its ultimate load level. Then the RC tunnel segment was exposed to heating that follows the Eurocode HC curve and held at the maximum temperature level until the failure of the test specimen under the combined effect of the mechanical loading and elevated temperature. The initial static load and the heating time were approximately 60 kN and 42 min for the RC tunnel segment test specimen with free-sliding boundary condition, which had been used for verification and named RC3 in the experimental study (Yan et al., 2015). The temperature gradient, midspan deflection, the vertical and lateral forces were measured during the

experiments. Temperature measurements have been taken from two different cross-sections depicted in Figure 1 using K-type thermocouples. Besides, a non-contact, high-sensitivity infrared radiometer was utilized to verify the accuracy of the temperature measurements.

3. Finite Element Modeling Procedure

In the scope of the study, the numerical analysis has been conducted using ABAQUS software. The Standart Module of ABAQUS utilizes the Newton-Raphson algorithm for the solution of nonlinear problems. The finite element model (FE model) developed has been based on a sequential thermal-stress analysis (STSA) technique. Heat transfer analysis (HTA) is the first step of STSA. Then, stress analysis (SA) is carried out by importing the nodal temperatures calculated from the HTA stage. The SA considers the combined effect of the static load and the elevated temperature. The presented finite element procedure has included another stage for the static load before the fire analysis. Therefore, the FE model developed consists of three different stages which are the HTA, the SA considering only static load, and the SA performed under the combined effect of static load and elevated temperature.

In the first step of the FE model, the geometries of concrete and steel rebar were modeled as discrete in the part module of ABAQUS. The STSA requires that two FE models with identical configurations are generated. While one of them was used in the HTA, the other was for the SA including the elevated temperature effect. The number of elements generated in the model and the mesh arrangement of the parts that composed both two assemblies must be identical so that the nodal temperature data can be transferred to the stress analysis. In the second step, the thermal and mechanical properties belonging to the concrete and steel reinforcements were defined. After the second step, the element types used in the FE model, restraint conditions, and load pattern become different for heat transfer and stress analysis. The third step is heat transfer analysis. The heat transfer analysis has been carried out by using one of the standard fires which exist in codes (ASTM E119, 2015; ISO 834-1, 1999; EN1992-1-2, 2004). In the fourth step, the structural static loads were applied to the RC tunnel segment in the stress analysis model at ambient temperature. Therefore, the stress/strain states, load-deflection behavior, and crack distributions of the RC tunnel segments were obtained before the fire. In the last stage of the numerical model, the nodal temperature data calculated in the HTA stage has been transferred into the SA model, and the static loads and elevated temperature effects were calculated simultaneously at each time interval of the numerical analysis.

In the HTA of the FE model developed, the RC tunnel segment and steel loading plates were modeled with the eighth-node continuum (DC3D8), and steel rebars were modeled using the two-node link (DC1D2) thermal elements. During the SA, the FE mesh arrangement is identical to that used in the HTA, however, the thermal elements have been changed with stress elements. In the stress analysis, the eighth-node continuum with reduced integration (C3D8R) element was utilized for the modeling of the RC tunnel segment and steel loading plates while the steel rebars were modeled with the two-node link (T3D2) elements. At the end of the mesh study considering the computational time and the convergence to experimental results together, the optimum mesh sizes of the RC tunnel segment, longitudinal reinforcement, and shear reinforcement were determined as 15, 30, and 10 mm respectively. Besides, a perfect bond assumption was made for steel-to-concrete interfaces via the "embedded region" method existing in ABAQUS. In the numerical analysis, only vertical translational movement of the most bottom nodes of the RC tunnel segment, which contact with the surface of the test setup, was restrained to provide the free-sliding boundary conditions like in the test.

In the HTA, the convection, radiation, and conduction are three required heat-transfer modes to determine the temperature gradient along the RC tunnel segment. In the furnace fire, the heat fluxes flow towards the outermost surfaces of the RC tunnel segment. In this region, convection and radiation are modes of exchanging heat. However, in the concrete part, heat transfer takes place via conduction. Therefore, the temperature distribution in an RC tunnel segment can be expressed by Fourier's differential equation defined for heat conduction (Gao et al., 2013):

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right) + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

where t refers to time. Temperature-dependent conductivity and specific heat are k and c , respectively. P denotes density. The intrinsically generated heat Q becomes zero in HTA belonging to the RC tunnel segment. The temperature distribution at the initial and the convenient boundary conditions was used for the solution of the differential equation given in Equation 2. The temperature distribution in the RC tunnel segment at $t=0$ is expressed as (Gao et al., 2013):

$$T(x, y, z, t)|_{t=0} = T_0(x, y, z) \quad (3)$$

where $T_0(x, y, z)$ denotes the ambient temperature of the RC tunnel segment, of which value has been measured with thermocouples. Heat is transmitted from the fire to

the surface of the RC tunnel segment by way of convection and radiation, which can be expressed utilizing the Robin boundary conditions (Gao et al., 2013):

$$-k \frac{\partial T}{\partial n} = h_c(T - T_f) + \sigma \varepsilon_m \varepsilon_f \left[(T - T_z)^4 - (T_f - T_z)^4 \right] \quad (4)$$

where n refers to the normal of the RC tunnel segment surface. The convective heat transfer coefficient is represented with h_c and this coefficient has been taken as 25 W/(m²K) and 9 W/(m²K) for fire exposed and unexposed surfaces, respectively (Gao et al., 2013; Hajiloo and Green, 2018). T_f is the fire temperature measured in the furnace or determined from the standard fire curve. T_z denotes the absolute zero temperature which is set at 273.15 °C. The σ denotes Stefan-Boltzmann constant which is equal to 5.67 x 10⁻⁸ W/(m²K⁴). The ε_m and ε_f are the heat emissivities of the exposed surfaces and the fire, respectively. These coefficients were taken as 0.8 and 1.0 for concrete and the standard fire condition, respectively, according to Eurocode 2 (EN1992-1-2; 2004).

4. Material Models

The nonlinear behavior of concrete is characterized by the Concrete damaged plasticity (CDP) model in ABAQUS. In the CDP, as consideration of compression, a linear behavior is observed up to initial yield σ_{co} . The stress-hardening and then strain-softening follows this threshold. The strain-softening has come after ultimate stress, σ_{cu} . Regarding tension, linearity is up to the failure stress σ_t0 in which the first micro-crack is formed. After this stress, the softening stress-strain behavior occurs. The elastic stiffness degradation is described with tensile (d_t) and compression (d_c) damage variables, of which values vary between 0 and 1. Zero and one correspond to no damage and full loss of strength, respectively. Consequently, for tension and compression, the stress-strain relationship can be written as follows (Abaqus, 2014):

$$\sigma_t = (1 - d_t)E_0(\varepsilon_t - \bar{\varepsilon}_t^{pl}) \quad (5)$$

$$\sigma_c = (1 - d_c)E_0(\varepsilon_c - \bar{\varepsilon}_c^{pl}) \quad (6)$$

Eq. 5 and 6 can be rewritten in compact forms as follows (Li, Hao, and Bi, 2017):

$$d_t = 1 - \frac{\sigma_t/E_0}{\bar{\varepsilon}_t^{pl} \left(\frac{1}{d_t} - 1 \right) + \sigma_t/E_0} \quad (7)$$

$$d_t = 1 - \frac{\sigma_t/E_0}{\tilde{\varepsilon}_t^{pl} \left(\frac{1}{b_t} - 1\right) + \sigma_t/E_0} \tag{8}$$

where the tensile and compressive equivalent plastic strains are $\tilde{\varepsilon}_t^{pl} = b_t(\varepsilon_t - \frac{\sigma_t}{E_0})$ and $\tilde{\varepsilon}_c^{pl} = b_c(\varepsilon_c - \frac{\sigma_c}{E_0})$, respectively. E_0 represents elastic modulus. A previous experimental study recommended the values of b_t and b_c as 0.2 and 0.7, respectively (Birtel and Mark, 2006). It has been demonstrated in the previous works that these values yielded accurate results for concrete materials subjected to the reversed-cyclic load and the impact load (Li, Hao, and Bi, 2017; Yılmaz, Kırac, Anil, Erdem and Sezer, 2018; Yılmaz, Kırac, Anil, Erdem and Hoşkal, 2020; Yılmaz, Kirac, Anil, Erdem and Kacaran, 2020). However, in the present study, the values of b_t and b_c has been defined as 0.2 and 0.5, respectively. The values of b_t and b_c were determined by the trial and error approach for convergence to experimental results and maintained constant for all temperature values. The dilation angle (ψ), the flow potential eccentricity (e), the ratio of initial equibiaxial compressive yield stress to initial uniaxial compressive yield stress (σ_{b0}/σ_{c0}), the coefficient related to the deviatoric cross-section's shape (K_c), and the viscosity parameter (μ) are other the CDP parameter that should be defined in numerical analysis. These parameters establish yield surface functions, material viscosity, and potential flow they have been defined as 30, 0.10, 1.16, 0.6667, and 0.0001, respectively, in the numerical analysis (Li et al., 2017; Yılmaz et al., 2018, 2020a, 2020b). It is assumed that they are the same for all temperatures.

The temperature-dependent uniaxial stress-strain behavior of concrete has been defined considering the approach presented in Eurocode 1992-1-2. First, it has been assumed that the initial yield stress for uniaxial behavior is $0.33f_{c,\theta}$. The $f_{c,\theta}$ refers to concrete compressive strength for the considered temperature value θ . The stress-strain path is linear up to the initial yield stress, and then the nonlinear behavior is defined with a curve expressed in Eq. 9 until the maximum compressive strength occurs. After peak stress, the softening behavior of the concrete material is described with a linear descending branch. The temperature-dependent maximum concrete compressive strength $f_{c,\theta}$ given in Eq. 9, the strain corresponding to this peak stress $\varepsilon_{c1,\theta}$, also ultimate strain $\varepsilon_{cu,\theta}$ has been defined according to the Eurocode 1992-1-2 considering temperature and aggregate type.

$$\sigma_\theta = \frac{3\varepsilon f_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1,\theta}}\right)^3\right)} \tag{9}$$

The tensile strength was calculated according to the equation given in Eq. 10 (Yılmaz et al., 2018).

$$f_t = 0.623\sqrt{f_c} \tag{10}$$

While the tensile response was characterized as linear up to the peak tensile stress, the post-peak response was defined as a linear decrease. The ultimate tensile strain (ε_{tu}) has been defined ten times of ε_{t1} which denotes tensile strain corresponding to the maximum tensile stress. This approach has been used in the previous study in the literature (Mirza and Uy, 2009). The temperature-dependent maximum tensile stress has been calculated according to the Eurocode 1992-1-2 and expressed in Eq. 11. The tensile and compression behaviors of concrete used in the numerical analysis were depicted in Figure 3 (Abaqus, 2014).

$$f_{t,\theta} = k_\theta f_t$$

$$k_\theta = 1; 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C}$$

$$k_\theta = 1 - (\theta - 100)/500; 100^\circ\text{C} < \theta \leq 600^\circ\text{C}$$
(11)

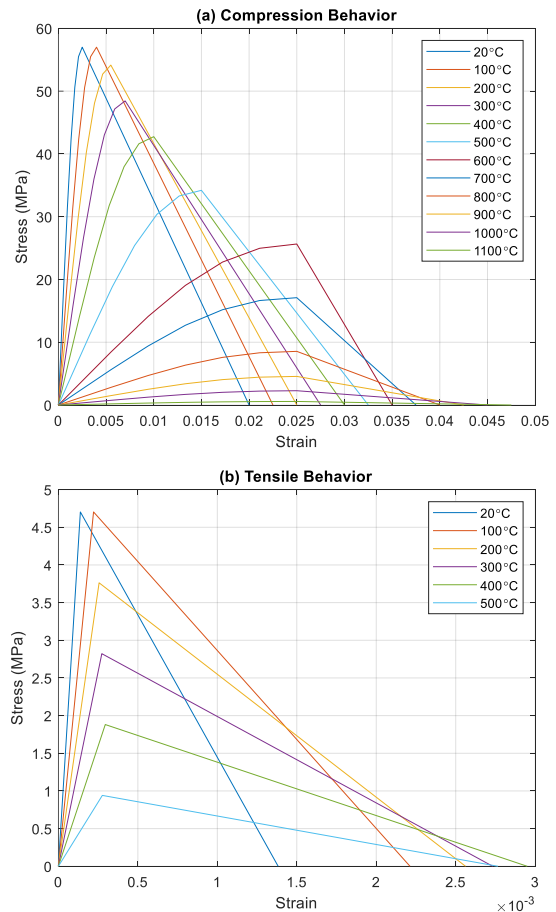


Figure 3. Compression (a) and tension (b) behaviors of concrete

It should be noted here that the minimum compressive and tensile stresses corresponding to the ultimate strains were assumed as $0.05f_{c,\theta}$ and $0.05f_{t,\theta}$, respectively, instead of zero to prevent numerical instability (Gao et al., 2013; Hajiloo and Green, 2018). The concrete density was taken as 2400 kg/m^3 . Poisson's ratio of concrete material was defined as 0.2. These values were kept constant at all temperatures. Specific heat of concrete and concrete conductivity was determined according to Eurocode 2 (EN1992-1-2; 2004). The specific heat and conductivity of concrete were presented in Figure 4. For thermal conductivity, Eurocode 1992-1-2 mean values were used in numerical analysis.

Steel material was modeled as elastoplastic without hardening in the numerical analysis. Specific heat and conductivity values of steel and the reductions of the steel material's elastic modulus and yield strength with the temperature increase were calculated according to Eurocode 1993-1-2 (EN1993-1-2; 2005). The specific heat and conductivity of steel were presented in Figure 5.

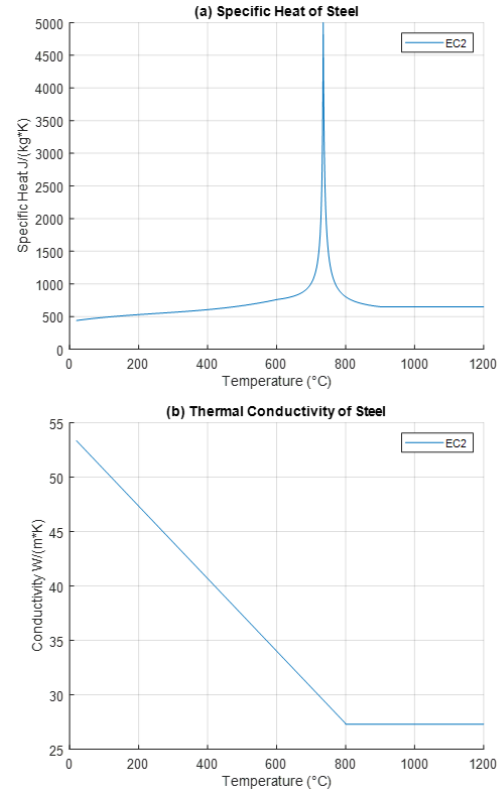


Figure 5. Specific heat (a) and thermal conductivity (b) of steel.

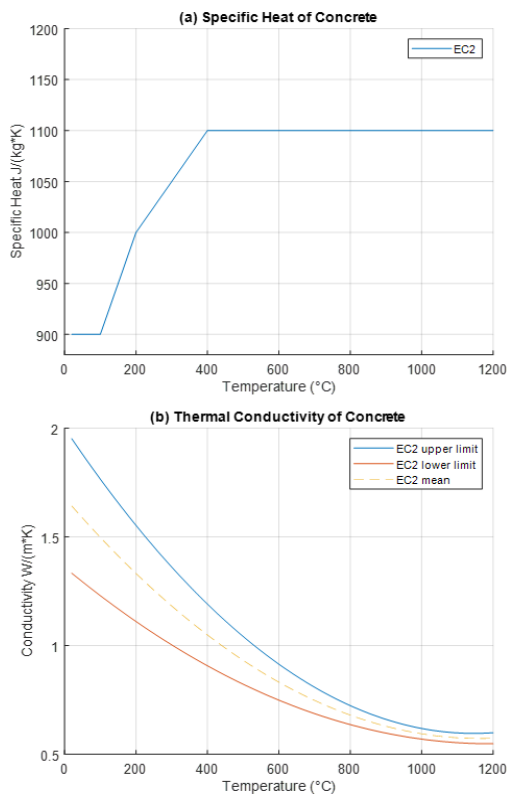


Figure 4. Specific heat (a) and thermal conductivity (b) of concrete.

5. Results Obtained by Numerical Analysis

The temperature distribution along the RC tunnel segment, and the load-deflection behavior under the combined effect of mechanical load and fire, crack patterns have been calculated via numerical analysis performed. Figure 6 has depicted the temperature distribution that occurred in the RC tunnel segment. Figure 7 shows the temperature time-history of the nodes obtained from numerical analysis. These nodes correspond to points where thermocouples were placed during the test. Furthermore, Figure 8 illustrates the comparison of the nodal temperatures obtained from numerical analysis and the temperature measurements in the test.

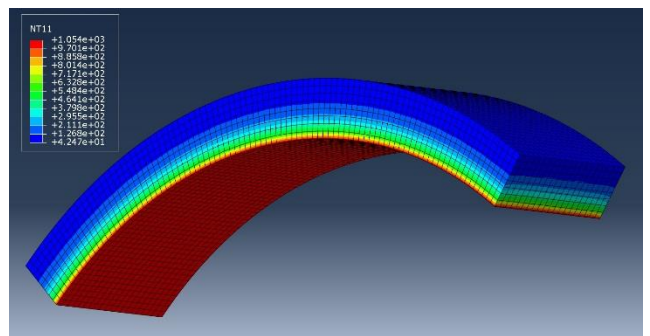


Figure 6. The temperature gradient

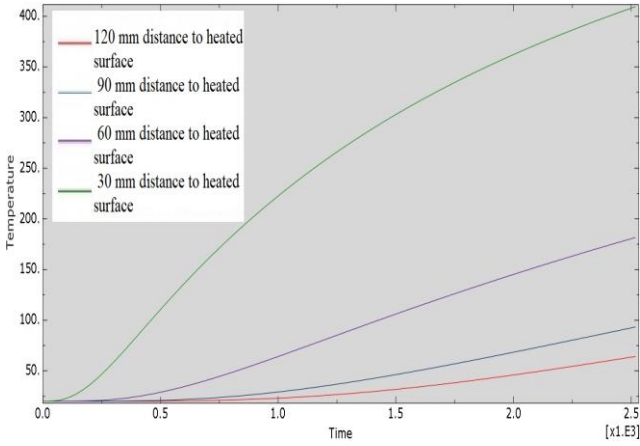


Figure 7. Temperature time-history of the nodes corresponding to points where thermocouples were placed during the test

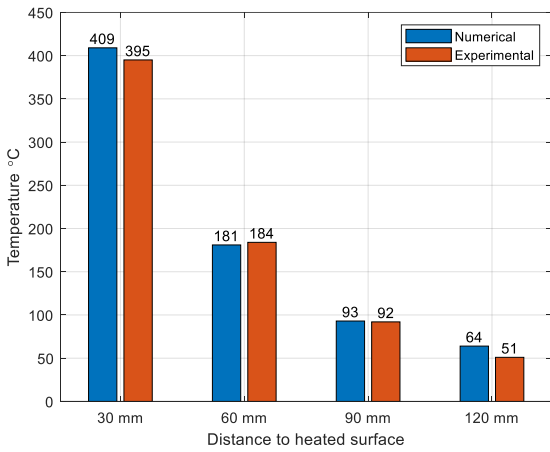


Figure 8. The comparison of the nodal temperatures obtained from numerical analysis and the temperature measurements in the test

When numerical and experimental temperature values are analyzed, it is concluded that heat-transfer analysis performed has been successful at the calculation of temperature distributions through the RC tunnel segment. The maximum, minimum, and average difference between temperature results were obtained as 20%, 1%, and %6.5, respectively. The maximum difference has occurred in the outermost of the RC tunnel cross-section. It is considered that this difference stems from the non-homogenous nature of concrete which causes variation in the conductivity of the concrete.

The damage pattern and the maximum principal stress distribution that occurred in static loading (a, c) and fire analysis (b, d) were presented in Figure 9. Damage has been characterized by values of between 0 and 1 where zero means no damage and one means total loss of

bearing capacity. Stress values are in Pa. It should be observed from Figure 9 that with the effect of the increasing temperature, widths and numbers of cracks and the principal stress also increased.

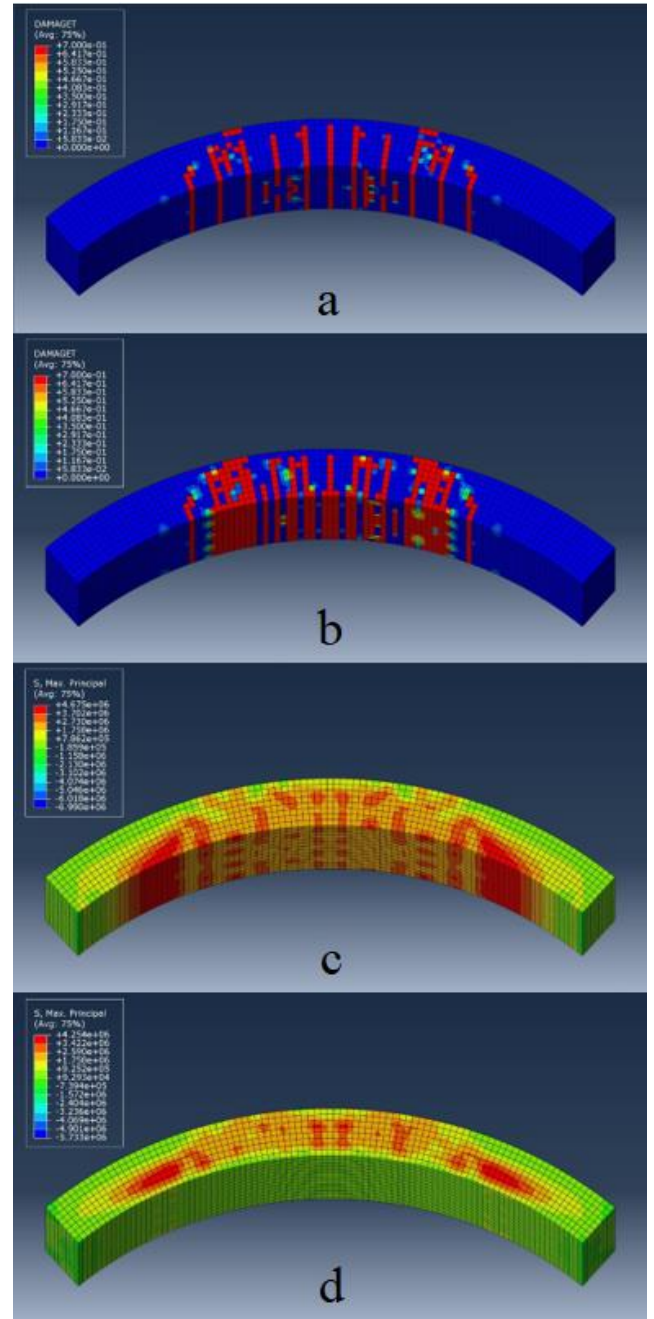


Figure 9. The damage pattern and the maximum principal stress distribution in static loading (a, c) and fire analysis (b, d)

Figure 10 shows the comparison of the load-deflection behavior obtained from numerical analysis and the test. When numerical and experimental load-deflection behaviors are examined, it is found that there is a

considerable difference between initial stiffness values, and the numerical model behaves more rigidly. It is considered that this difference results from the non-homogenous behavior of concrete. The numerical model exhibited exact homogenous material behavior in all sections. The actual test specimen has non-homogeneous nature and the damages and cracks that occurred vary the behavior. To reflect actual damage accumulation exactly in the numerical model may not be possible. Therefore, initial stiffness values were obtained differently in numerical and test results. However, the ultimate load capacity and also the displacement value at peak load, which are obtained from the numerical analysis and the experiment, are coincided and these values are 60 kN and 12.5 mm. Furthermore, ultimate displacement values are quite close in the numerical model and test, which are 49 mm and 45 mm, respectively. Consequently, the presented numerical model yields accurate results in terms of load-deflection behavior and can be used for the evaluation of the RC tunnel subjected to static load and fire effect.

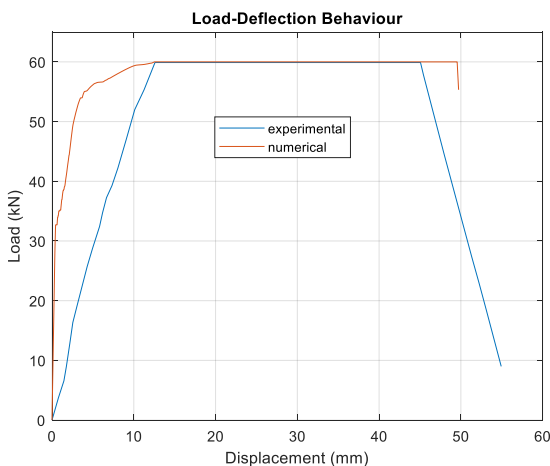


Figure 10. The numerical and experimental load-deflection behaviors

6. Conclusions

In the scope of this study, a 3D finite element procedure based on a sequential thermal-stress analysis technique is established for the evaluation of the fire behavior of RC shield tunnel segments. The first step of the sequential thermal-stress analysis composes of heat transfer analysis. The second step is stress analysis where the nodal temperatures obtained from the heat transfer analysis stage have been transferred, and the combined effect of the static load and the temperature increase is considered. The finite element model developed has been verified with test results taken from a comprehensive experimental study previously presented in the literature. The comparison of

numerical and experimental results reveals that the ultimate load capacity and the displacement at this peak load can be exactly calculated via the presented FEM. It is also demonstrated the ultimate displacement can be determined with a difference of 8%. Besides, it is found that the average difference for temperature distribution is only 1%. These results prove that the presented FEM can be used to predict temperature distribution occurred in the RC tunnel shield and load-deflection behavior of the RC tunnel under the static load and fire effect. The authors consider the presented FEM can be improved with future full-scale fire tests and the analytical approaches and can be utilized for parametric studies.

Contribution of Researchers

Author 1 and Author 2 have together carried out the part of the present research which are the literature review, the determination of the experimental study that exists in the literature for validation of numerical analysis, the development of the proposed finite element model, and the comparison and interpretation of the results obtained from numerical analysis and experiments.

Conflict of Interest

The authors have declared no conflict of interest.

References

- ABAQUS, (2014). ABAQUS/Standard user's manual version 6.14, Hibbit, Karlsson, & Sorensen, Inc.
- Alhawat, H., Hamid, R., Baharom, S., Azmi, M. R. & Kaish, A. B. M. A. (2021). Thermal behaviour of unloaded concrete tunnel lining through an innovative large-scale tunnel fire experimental testing setup. *Construction and Building Materials*, 283,122718. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122718.
- ASTM, (2015). Standard test methods for fire tests of building construction and materials, West Conshohocken (PA): ASTM E119.
- Birtel, V. & Mark, P. (2006). Parameterised finite element modelling of RC beam shear failure. *Proceedings of the 19th Annual International ABAQUS Users' Conference*, Boston.
- Boxheimer, S., Knitl, J. & Dehn, F. (2009), Fire test on precast tunnel segments for the Liefkenshoekspoortunnel in Antwerp. *Proceedings of 1st International Workshop on Concrete Spalling due to Fire Exposure*, Leipzig.
- Caner, A. & Böncü, A. (2009). Structural Fire Safety of Circular Concrete Railroad Tunnel Linings. *Journal of*

- Structural Engineering*, 135, 9, 1081–1092. doi: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0000045.
- CEN (European committee for standardization). Eurocode 1: Actions on structures. EN 1991-1-1:2002.
- CEN (European committee for standardization). Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – structural fire design. EN1992-1-2; 2004.
- CEN (European committee for standardization), Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2: General rules – structural fire design. EN1993-1-2; 2005.
- Dai, J.-G., Gao, W.-Y., & Teng, J. G. (2015). Finite Element Modeling of Insulated FRP-Strengthened RC Beams Exposed to Fire. *Journal of Composites for Construction*, 19, 2, 1-15. doi: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000509.
- Gao, W. Y., Dai, J. G., Teng, J. G., & Chen, G. M. (2013). Finite element modeling of reinforced concrete beams exposed to fire. *Engineering Structures*, 52, 488–501. doi:10.1016/j.engstruct.2013.03.017.
- Guerrieri, M., Sanabria, C., Lee, W. M., Pazmino, E. & Patel, R. (2020). Design of the metro tunnel project tunnel linings for fire testing. *Structural Concrete*, April, 1–29. doi: 10.1002/suco.202000140
- Haack, A. (1992). Fire protection in traffic tunnels-initial findings from large-scale tests. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 7, 4, 363–375. doi: 10.1016/0886-7798(92)90066-Q.
- Haack, A. (1998). Fire protection in traffic tunnels: General aspects and results of the EUREKA project. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 13, 4, 377–381. doi: 10.1016/S0886-7798(98)00080-7.
- Hajiloo, H. & Green, M. F. (2018). GFRP reinforced concrete slabs in fire: Finite element modelling. *Engineering Structures*, 183, October 2018, 1109–1120. doi: 10.1016/j.engstruct.2019.01.028.
- Hua, N., Khorasani, N. E., Tessari, A. & Ranade, R. (2022). Experimental study of fire damage to reinforced concrete tunnel slabs. *Fire Safety Journal*, 127, 103504. doi: 10.1016/j.firesaf.2021.103504.
- Hua, N., Khorasani N. E. & Tessari, A. (2022). Numerical modeling of the fire behavior of reinforced concrete tunnel slabs during heating and cooling. *Engineering Structures*, 258, 114135. doi: 10.1016/j.engstruct.2022.114135.
- International Tunnelling and Underground Space Association (ITA), 2005. Guidelines for structural fire resistance for road tunnels.
- ISO, (1999). Fire resistance tests-Elements of building construction-Part 1: General requirements, Geneva (Switzerland): ISO 834-1.
- Jiang, L., Orabi, M. A., Jiang, J. & Usmani, A. (2021). Modelling concrete slabs subjected to fires using nonlinear layered shell elements and concrete damage-plasticity material. *Engineering Structures*, 234, 111977. doi: 10.1016/j.engstruct.2021.111977.
- Kaundinya, I., Dehn, F., Nause, P. & Juknat, M. (2009). Fire tests at large-scale specimens of ZTV-ING conform fiber-modified concrete for inner shells of road tunnels. *Proceedings of 1st International Workshop on Concrete Spalling due to Fire Exposure*, Leipzig.
- Li, C., Hao, H. & Bi, K. (2017). Numerical study on the seismic performance of precast segmental concrete columns under cyclic loading. *Engineering Structures*. 148, 373–386. doi: 10.1016/j.engstruct.2017.06.062
- Lönnermark A. (2005). *On the characteristics of fires in tunnels* (Doctoral thesis). Lund University, Sweden.
- Mirza, O. & Uy, B. (2009). Behaviour of headed stud shear connectors for composite steel-concrete beams at elevated temperatures. *Journal of Constructional Steel Research*, 65, 662–74. doi: 10.1016/j.jcsr.2008.03.008.
- National Fire Protection Association (NFPA), (1998). NFPA 502 standard for road tunnels, bridges, and other limited access highways, NFPA 502.
- Pagani, R., Bocciarelli, M., Carvelli, V., & Pisani, M. A. (2014). Modelling high temperature effects on bridge slabs reinforced with GFRP rebars. *Engineering Structures*, 81, 318–326, doi: 10.1016/j.engstruct.2014.10.012.
- Richter, E. (2005). Fire test on single-shell tunnel segments made of a new high-performance fireproof concrete. *Workshop: Fire Design of Concrete Structures: What now*.
- Shen, Y., Zhu, H., Yan, Z., Zhou, L. & Lu, Y. (2021). Semi-analytical thermo-mechanical model for the shield tunnel segmental joint subjected to elevated temperatures. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 118, 104170. doi: 10.1016/j.tust.2021.104170.
- Siemon, M., & Zehfuß, J. (2018). Behavior of structural tunnel elements exposed to fire and mechanical loading. *Journal of Structural Fire Engineering*, 9, 2, 138–146. doi: 10.1108/JSFE-01-2017-0020.
- Yan, Z. G., Zhu, H. H., Ju, J. W. & Ding, W. Q. (2012). Full-scale fire tests of RC metro shield TBM tunnel linings. *Construction and Building Materials*, 36, 484–494. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.06.006.

- Yan, Z. G., Shen, Y., Zhu, H. H., Li, X. J., & Lu, Y. (2015). Experimental investigation of reinforced concrete and hybrid fibre reinforced concrete shield tunnel segments subjected to elevated temperature. *Fire Safety Journal*, 71, 86–99, 2015, doi: 10.1016/j.firesaf.2014.11.009.
- Yasuda, F. & Ono, K. (2004). Fire protection for TBM shield tunnel lining. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 19, 4–5, 317. doi: 10.1016/j.tust.2004.01.018.
- Yılmaz, T., Kirac, N., Anil, Ö., Erdem, R. T., & Sezer, C. (2018), “Low-velocity impact behaviour of two way RC slab strengthening with CFRP strips,” *Construction and Building Materials*, 186, 1046–1063. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.027.
- Yılmaz, T., Kirac, N., Anil, Ö., Erdem, R. T., & Hoşkal, V. (2020). Experimental and numerical investigation of impact behavior of reinforced concrete slab with different support conditions. *Structural Concrete*, September,1–19. doi: 10.1002/suco.202000216.
- Yılmaz, T., Kirac, N., Anil, Ö., Erdem, R. T., & Kacaran, G. (2020). Experimental Investigation of Impact Behaviour of RC Slab with Different Reinforcement Ratios. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24, 1, 241–254. doi: 10.1007/s12205-020-1168-x.

ALKALİ ÇİNKO VE ALAŞIMLI ÇİNKO KAPLAMA ÜZERİNE ÇÖZÜCÜ BAZLI ÇİNKO LAMELLİ KAPLAMA UYGULAMASI İLE OLUŞTURULAN ÇOK KATMANLI KAPLAMANIN KOROZYON ÖNLEME PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ahmet CAN¹, Levent AKYALÇIN^{2**}

¹ Uzman Kaplama San. Tic. Ltd. Şti, Bursa

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-0831-021X>

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

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

Anahtar Kelimeler

Korozyon; Alkali Çinko ve Çinko Alaşimli Kaplama; Çinko Lamelli Kaplama

Öz

Bu çalışmada, alkali çinko, çinko-nikel ve çinko-demir alaşım kaplama prosesleri ile çözücü bazlı çinko lamelli kaplama prosesi yeniden düzenlenerek bir araya getirilmiş ve iki farklı kaplama prosesinin tekil üstün özellikleri birleştirilerek üstün korozyon önleme performansına sahip ürünlerin üretilmesine olanak sağlayan yeni bir proses geliştirilmiştir. Yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen ve görsel uygunluk kriterini sağlayan kaplamalar kuru yapışma, su direnci, nem direnci, tuz sisi, çevrimsel korozyon ve kimyasal direnç testlerine tabi tutulmuştur. Geliştirilen yeni proses, yüksek korozyon direncine (>1000 saat tuz sis testi ve >63 döngü döngüsel korozyon testi), yüksek sıcaklık direncine (300 °C'de bir saat), kimyasal dirence ve elektriksel yalıtkanlığa sahip parçaların üretilmesini olanak sağlamıştır. Testlerden elde edilen sonuçlar otomotiv endüstrisinin beklentileriyle kıyaslanmış ve beklentilerden daha üstün özellikler elde edilmiştir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MULTI-LAYER COATING ON CORROSION PREVENTION PERFORMANCE FORMED BY THE APPLICATION OF SOLVENT-BASED ZINC LAMEL COATING ON ALKALI ZINC AND ALLOY ZINC COATING

Keywords

Corrosion; Alkaline Zinc and Zinc Alloy Plating; Zinc Lamella Coating

Abstract

In this study, alkaline zinc, zinc-nickel, and zinc-iron alloy coating techniques were reorganized and merged, and a novel process was devised that allows the manufacturing of products with improved corrosion protection performance by combining their excellent qualities. The coatings obtained from the experimental studies and meeting the visual suitability criteria were subjected to dry adhesion, water resistance, moisture resistance, salt mist, cyclic corrosion, and chemical resistance tests. Parts with high corrosion resistance (1000 hours salt fog test and 63 cycles cyclic corrosion test), high-temperature resistance (one hour at 300 °C), chemically resistant and electrically insulating coatings were produced using the novel technology. The results obtained from the tests were compared with the expectations of the automotive industry and superior features were obtained.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 18.02.2022

: 27.07.2022

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 18.02.2022

: 27.07.2022

* 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/>).

1. Giriş

Denizcilik, yeraltı madenciliği, havacılık, otomotiv ve biyomedikal implantlar vb. agresif ortamlarda çalışan çelik malzemelerde oluşabilecek korozyonu önlemek için önerilen çözümlerden biri malzemenin korozyon direncini artırabilen metalik bir koruyucuyla kaplamaktır. Bu kaplamalar, fiziksel bir engel olabildiği gibi feda edilebilecek bir kaplama da olabilir. Kaplamanın altlık yüzeyine yapışmasını etkileyen iç gerilimler ile titreşim, sürtünme vb. gibi kullanıldığı yerdeki mekanik gerilimler, üstesinden gelinmek üzere optimize edilmesi gereken iki önemli parametredir. İdeal bir kaplama yüksek korozyon direncine sahip olmalı ve minimum çevresel tehdit oluşturmamalıdır. İdeal bir metalik koruyucu kaplama seçmek için, amaçlanan uygulamayı ve maruz kalma ortamını dikkate almak önemlidir (Maniam ve Paul, 2021).

Çelik malzemelerin korozyondan korunmasında çinko kaplamalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaplamalar, malzemeye iyi korozyon koruması ve mekanik nitelikler kazandırmasının yanı sıra malzemeye kaynak yapılmasına ve malzemenin boyanmasına imkân vermektedir. Çinko kaplamaların, çelik malzemeleri korozyondan korumak için fedakâr bir tabaka olarak hareket ettiği kanıtlanmış olsa da bunlar hızlı bir şekilde korozyona uğramakta ve bu durum kaplamaların genel performansını ve dayanıklılık ömrünü bulunduğu ortamla olan etkileşimine bağlı olarak önemli ölçüde etkilemektedir. Otomotiv sanayisinin kullandığı çelik malzemelerin korozyon performansını artırmak için çinko (Zn), kobalt (Co), nikel (Ni) ve demir (Fe) ile alaşımlandırılmakta ve sertlik, homojenlik, şekil değiştirilebilirlik, kaynaklanabilirlik, boyanabilirlik, korozyon ve aşınma direnci gibi işlevsel özelliklerine ve endüstrinin gereksinimlerine uygun ilave katkı sağlamak için kullanılmaktadır (Zaki, 1994).

Çinko-nikel kaplama prosesiyle ilgili olarak literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu tür kaplamalar için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar, asidik ve siyanür olmayan alkali kaplama sistemleridir. Asidik sistemlerde %10-14 arasında, alkali sistemlerde ise %5-9 arasında değişen miktarda nikel içeriğine ve yüksek korozyon direncine sahip kaplamalar yapılabilmektedir. Alkali banyolar hem düşük hem de yüksek akım yoğunluklarında, kaplamada tek düze nikel içeriği oluşturma avantajına sahiptir. Bir diğer avantajı ise kaplamasız iç alanlara karşı aşındırıcı olmamasıdır. Bu yöntem korozyon direnci, kullanım kolaylığı ve kadmiyum kaplama proselinin yerini alabilmesi gibi uygulama açısından iyi özelliklere sahiptir. Hem askı hem de dökme kaplamalar için kararlı bir banyodur. Öte yandan, alkali banyo ile kaplama hızı daha düşüktür (Chandrasekar, Srinivasan ve Pushpavanam, 2008).

Çinko-demir kaplama prosesi genellikle sülfat veya klorür bazlı asit tipi prosesler olup kompleksleştirici

olarak sitrik asit kullanılmaktadır. Çinko-demir kaplama prosesi, çinko-nikel kaplama prosesinden daha zahmetli olsa da çinko-demir alaşım kaplamaları, çinko-nikel alaşım kaplamalarına göre daha iyi fosfatlanabilmekte ve daha iyi boyanabilmektedir (Pushpavanam, 2000). Zn-Fe alaşımlarının asit ve alkali banyolardaki elektrokaplama, korozyona karşı dayanıklı ve yüksek kalitede kalın, pürüzsüz, parlak, sert ve yüzeye iyi tutunan siyah renkli kaplamaların elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Kaplamadaki Fe miktarı düşük (%10'dan az) ise kaplamalar açık gri renkte olup Fe oranının artmasıyla (%20'den fazla) kaplamanın rengi koyulaşarak siyaha dönmektedir. Zn-Fe alaşımın mikro sertliği çinkonunkinden daha yüksektir ve Fe miktarı arttıkça yükselir; örneğin %10 ve %40 Fe içeren alaşımların mikro sertlikleri sırasıyla 170 ve 300 HV'dir. Bununla birlikte, iyi kromat alıcılığı sağlamak için alaşım %0.5-1.0 Fe içermelidir. Alaşımdaki Fe içeriğinin %0.5 mertebesinde olmasının standart galvanizlemeden daha üstün pas direnci sağlamak için yeterli olduğu bildirilmiştir (Barbossa ve Carlos, 2006). Siyanür içermeyen alkali banyolar genellikle ekonomik olması, kurulumunun ve atık su arıtımının basit olması ve düşük derişimli, gümüş içermeyen siyah kaplamalar üretmesi nedeniyle tercih edilmektedir. Bu alaşımların sunduğu korozyon koruma derecesi çinko-nikelden daha az, ancak çinkodan daha iyidir (Pushpavanam, 2000). Zn-Fe kaplamaları genellikle otomobillerdeki yakıt hatları ve ilgili bileşenleriyle, şasi bileşenleri ve kapı mandallarının korozyon korumalarında tercih edilmektedir.

Çinko lamelli kaplama, çinko ve alüminyum lamellerden ve lamellerin sıcaklıkla kürlenmesinden sonra metal altlığa yapışmasını sağlayan inorganik bağlayıcılardan oluşan korozyona dayanıklı bir kaplama şeklidir. Çinko lamelli kaplama, metal altlık gerekli temizleme basamaklarından geçtikten sonra püskürtmeyle, daldırma veya daldırıp döndürmeyle uygulanabilir (Can, 2019).

Çinko lamelli kaplamada kullanılan Delta Seal®, yüksek düzeyde çapraz bağlı bir bağlayıcı yapıdan ve yüksek kaliteli pigmentlerden oluşan organik bir mikro katmanlı son kat kaplamasıdır. Kuru filmde kadmiyum, krom ve kurşun gibi ağır metaller içermemektedir. Delta Seal® kuruduktan sonra altlığa kuvvetle tutunan, ince ve çok dayanıklı bir tabaka oluşturmaktadır. Delta Seal GZ® ise dişli bileşenlerde kullanıldığında Delta Seal®'in tüm özelliklerine ilaveten iyileştirilmiş bir tork/gerilim ilişkisi sağlamak için içeriğinde politetrafloroetilen (PTFE) bulunmaktadır (Delta Seal / Delta Seal Gz Description, 2022).

Otomotiv sanayinde korozyon önleme süreçleri içerisinde yer alan alkali çinko ve alkali çinko alaşım kaplama süreçleri ile çinko lamelli kaplama süreci birbirinden bağımsız uygulanan süreçlerdir. Bu süreçler içerisinde üretilen kaplamaların birbirlerinden üstün ve zayıf tarafları bulunmaktadır. Çalışmanın amacı, daha

uygun maliyetli, tüm şekil ve boyutlardaki parçalara uygulanabilen ve daha iyi korozyon direnci özelliklerine sahip kaplamalar üretebilen yeni bir kaplama süreci geliştirmektedir.

Farklı süreçlerden meydana gelen alkali çinko/çinko alaşım kaplama prosesleri ile çözücü bazlı çinko lamelli kaplama prosesleri yeniden düzenlenerek bu çalışma kapsamında bir araya getirilmiş, böylelikle farklı kaplama süreçlerinin olumlu yönleri birleştirilerek üstün korozyon önleme performansına sahip kaplamaların üretimi sağlanmıştır. Uygulanan bu yöntemle yüksek korozyon (1000 saat tuz sis testi ve 63 çevrim döngüsel korozyon testi) ve yüksek sıcaklık (300 °C'de bir saat) direncine sahip, elektrik iletken olmayan ve yüksek kimyasal dayanımı olan kaplamalar elde edilmiştir (Can, 2019). Yapılan çalışmalardan elde edilen kaplamalar görsel uygunluk kriterini sağladıktan sonra yapışma, su direnci, nem direnci, çekme yapışma, tuz sisi, çevrimsel korozyon ve kimyasal direnç ve sıcaklık dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Testlerden elde edilen sonuçlar otomotiv endüstrisinin beklentileriyle kıyaslanmıştır.

2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında oluşturulan üç farklı kaplama süreci şu şekilde özetlenebilir.

- I. Çözücü bazlı çinko lamelli kaplı / kaplı olmayan son kat kaplaması olan/olmayan alkali çinko kaplama işlemi
- II. Çözücü bazlı çinko lamelli kaplı / kaplı olmayan son kat kaplaması olan/olmayan alkali çinko-demir alaşım kaplama işlemi
- III. Çözücü bazlı çinko lamelli kaplı / kaplı olmayan son kat kaplaması olan/olmayan alkali çinko-nikel kaplama işlemi

Geliştirilen yeni kaplama yönteminde kullanılan iş akışı Şekil 1'de ve deney planlamaları ise Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Deneyler sırasında otomotiv sanayisine yönelik olarak üretilen ve boyutları 80x100x1 mm olan soğuk haddelenmiş DKP çelik sac levhalar kullanılmış olup, %0.08 C, %0.65 Mn, %0.01 P, %0.006 S, %0.01 Si ve %0.05 Al içermektedirler.

Alkali çinko/çinko alaşım kaplamalar ve çözücü bazlı çinko lamelli kaplamalar Uzman Kaplama San. ve Tic. Ltd. Şti., Bursa'da yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen alkali çinko/çinko alaşım kaplamalar üzerine çözücü bazlı çinko lamelli kaplama uygulamasındaki süreçler iki ana başlık altında değerlendirilmiştir. Bunlar, alkali çinko kaplamalar ve çinko lamelli kaplamadır. Deneysel çalışmalar sırasında takip edilen deney planlaması Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Geliştirilen Kaplama Prosesinin İş Akışı

Tablo 1

Zn (1-15) ve Zn-Fe (16-30) Kaplama Deney Planı

Deney No.	AKK	ÜK1	ÜK1K	ÜK2	ÜK2K	TK
1	5	DPK	8	DSB	20	33
2	8	DPK	8	DSB	20	36
3	12	DPK	8	DSB	20	40
4	5	DPK	8	-	-	13
5	8	DPK	8	-	-	16
6	12	DPK	8	-	-	20
7	5	DSB	20	-	-	25
8	8	DSB	20	-	-	28
9	12	DSB	20	-	-	32
10	5	DSBGZ	20	-	-	25
11	8	DSBGZ	20	-	-	28
12	12	DSBGZ	20	-	-	32
13	5	DSSGZ	20	-	-	25
14	8	DSSGZ	20	-	-	28
15	12	DSSGZ	20	-	-	32
16	5	DPK	8	DSB	20	33
17	8	DPK	8	DSB	20	36
18	12	DPK	8	DSB	20	40
19	5	DPK	8	-	-	13
20	8	DPK	8	-	-	16
21	12	DPK	8	-	-	20
22	5	DSB	20	-	-	25
23	8	DSB	20	-	-	28
24	12	DSB	20	-	-	32
25	5	DSBGZ	20	-	-	25
26	8	DSBGZ	20	-	-	28
27	12	DSBGZ	20	-	-	32
28	5	DSSGZ	20	-	-	25
29	8	DSSGZ	20	-	-	28
30	12	DSSGZ	20	-	-	32

AKK: Alt Kaplama Kalınlığı, µm	DPK: Delta Protekt KL100
ÜK1: Üst Kaplama - 1	DSB: Delta Seal Black
ÜK1K: 1. Üst Kaplama Kalınlığı, µm	DSBGZ: Delta Seal GZ Black
ÜK2: Üst Kaplama - 2	DSSGZ: Delta Seal GZ Silver
ÜK2K: 2. Üst Kaplama Kalınlığı, µm	
TK: Toplam Kaplama Kalınlığı, µm	

Tablo 2
Zn-Ni Kaplama Deney Planı

Deney No.	AKK	%Ni	ÜK1	ÜK1K	ÜK2	ÜK2K	TK
31	5	12	DPK	8	DSB	20	33
32	8	12	DPK	8	DSB	20	36
33	12	12	DPK	8	DSB	20	40
34	5	15	DPK	8	DSB	20	33
35	8	15	DPK	8	DSB	20	36
36	12	15	DPK	8	DSB	20	40
37	5	18	DPK	8	DSB	20	33
38	8	18	DPK	8	DSB	20	36
39	12	18	DPK	8	DSB	20	40
40	5	12	DSB	20	-	-	25
41	8	12	DSB	20	-	-	28
42	12	12	DSB	20	-	-	32
43	5	15	DSB	20	-	-	25
44	8	15	DSB	20	-	-	28
45	12	15	DSB	20	-	-	32
46	5	18	DSB	20	-	-	25
47	8	18	DSB	20	-	-	28
48	12	18	DSB	20	-	-	32
49	5	12	DSBGZ	20	-	-	25
50	8	12	DSBGZ	20	-	-	28
51	12	12	DSBGZ	20	-	-	32
52	5	15	DSBGZ	20	-	-	25
53	8	15	DSBGZ	20	-	-	28
54	12	15	DSBGZ	20	-	-	32
55	5	18	DSBGZ	20	-	-	25
56	8	18	DSBGZ	20	-	-	28
57	12	18	DSBGZ	20	-	-	32
58	5	12	DSSGZ	20	-	-	25
59	8	12	DSSGZ	20	-	-	28
60	12	12	DSSGZ	20	-	-	32
61	5	15	DSSGZ	20	-	-	25
62	8	15	DSSGZ	20	-	-	28
63	12	15	DSSGZ	20	-	-	32
64	5	18	DSSGZ	20	-	-	25
65	8	18	DSSGZ	20	-	-	28
66	12	18	DSSGZ	20	-	-	32

AKK: Alt Kaplama Kalınlığı, μm	DPK: Delta Protekt KL100
%Ni: Ağırlıkça Nikel miktarı, %	DSB: Delta Seal Black
ÜK1: Üst Kaplama - 1	DSBGZ: Delta Seal GZ
ÜK1K: 1. Üst Kaplama Kalınlığı, μm	Black
ÜK2: Üst Kaplama - 2	DSSGZ: Delta Seal GZ
ÜK2K: 2. Üst Kaplama Kalınlığı, μm	Silver
TK: Toplam Kaplama Kalınlığı, μm	

2.1. Kaplama Süreçleri

2.1.1 Alkali Çinko/Çinko Alaşım Kaplama

Alkali çinko ve alkali çinko alaşım kaplama süreci (i) yüzey hazırlama, (ii) elektro kaplama ve (iii) pasivasyon basamaklarından oluşmaktadır.

Alkali sıcak yağ alma, yüzey hazırlama basamağının ilk basamağıdır. Metal üzerinde biriken kirler, alkali sıcak yağ alma yöntemi kullanılarak uzaklaştırılmaktadır. Yağ alma banyolarında kullanılan alkali kimyasallar ticari olarak sıvı veya toz biçiminde temin edilmektedir. Bu çalışma kapsamında Ekinoks Kimya'dan temin edilen

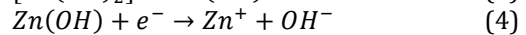
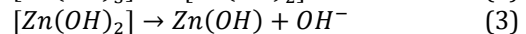
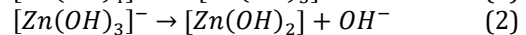
Cleanox 1972 ürünü kullanılmıştır. Sıcak yağ alma işlemi %3-10 mL çözelti derişiminde, 50-85°C banyo sıcaklığında ve 1-30 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir.

Alkali çinko kaplama sürecinde yer alan her bir işlem basamağından sonra durulama işlemi uygulanmaktadır. Durulamanın amacı, durulamadan önceki basamakta kullanılan ve metal yüzeyine tutunmuş kimyasalları metal yüzeyden uzaklaştırmak ve böylelikle takip eden aşamalarda banyoların kirlenmesini ve kimyasal bileşiminin bozulmasını önlemektir. Çalışmalarımız sırasında durulama işlemlerinde şebeke suyu kullanılmıştır.

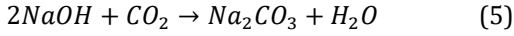
Durulama işleminden sonra elektrolitik temizleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Elektrolitik temizlemede, çözünmeyen bir elektrot ile temizlenecek parça arasında bir doğru akım uygulanmaktadır. Elektrolitik temizleme sırasında temizlenecek malzemenin yüzeyinde oluşan oksijen veya hidrojen gazı kabarcıkları yüzeydeki safsızlıkları uzaklaştırmaktadır. Yapılan çalışmada Ekinoks Kimya'dan temin edilen Cleanox E ürünü kullanılmıştır. Elektrolitik yağ alma işlemi %4-6 mL çözelti derişiminde, 50-80°C banyo sıcaklığında, 1-20 dakika süreyle ve 3-5 A/dm² akım yoğunluğunda gerçekleştirilmiştir.

Asidik yağ giderme işlemi, çinko kaplamadan önceki son temizleme basamağıdır. Asidik yağ alma kimyasalları, yağ gideriminin yanı sıra parçalardaki pas ve tufalin arındırılmasında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Banyo içeriğinde yüzey aktif maddeler, emülgatörler, inhibitörler ve asitler (fosforik, sülfürik, hidroklorik, hidroflorik, nitrik asit, vb.) bulunabilir. Metal parça üzerindeki pas ve yağ miktarına bağlı olarak banyodaki çözelti derişimi %5-50 mL arasında değişmektedir. Banyodaki çözelti derişimi azaldıkça işlem süresi uzamaktadır. Toplam asit derişimi ve işlem süresi, asidik yağ alma banyolarında dikkat edilmesi gereken parametrelerdir. Çalışmamız sırasında kullandığımız asidik yağ alma banyosunda %10-30 mL çözelti derişiminde HCl çözeltisi kullanılmış olup, yağ alma işlemi 5-15 dakika sürmüştür.

Asit klorür çinko kaplama işlemi gibi siyanürsüz alkali çinko kaplama işlemi de güvenilir ve düşük maliyetli bir işlemdir. Eşitlik 1-4'de çelik malzemelerin alkali çinko kaplanmasında meydana gelen reaksiyonlar verilmiştir.



Siyanürün kullanılmadığı alkali çinko kaplama prosesinde karşılaşılan en büyük zorluk, kaplama banyosundaki karbonat derişiminin yüksek olmasıdır. Eşitlik 5'te gösterildiği gibi, çözeltiye aşırı miktarda CO₂ girmesi sonucu kaplama banyosunda karbonat bileşikleri oluşmaktadır.



Çözeltideki karbonat iyonu derişimi, artan çözelti sıcaklığı ve karıştırma hızıyla artmakta ve çözeltinin iletkenliğini azaltarak elektrokaplamaı engellemektedir. Havadaki CO₂ miktarına bağılı olarak, çözeltide izin verilen karbonat derişimi 50 ile 100g/L arasındadır. Karbonatın çözeltiden uzaklaştırılmasında iki farklı yöntemden biri tercih edilmektedir. Daha yaygın olarak tercih edilen ilk yöntem, çözeltinin 5-10°C'ye soğutulması ve katılaşılan karbonatlı bileşiklerin filtre edilerek uzaklaştırılmasıdır. İkinci ve daha az tercih edilen diğere yöntem ise banyo çözeltisine eklenen kalsiyum hidroksit (CaOH) ile karbonat iyonunun çöktürülerek ortamdan uzaklaştırılmasıdır (Can, 2019).

Çinko-nikel alaşımları, asit veya alkali siyanür olmayan çözeltiler kullanılarak kaplanabilir. Tipik olarak, asit çözeltisi kullanımında %10-14'lük bir nikel içeriğı sağlanırken, siyanür içermeyen alkali çözeltiler %5-8 nikel veya %10-17 nikel içeriğı sağlamaktadır. Nikel içeriğı %17'ye yükseldikçe korozyon direnci artmakta, bu seviyeden sonra çinko-nikel kaplama, korozyon önleme özelliklerini kaybederek alt tabakadan daha asal hale gelmektedir. Çinko-nikel alaşımlı kaplama işlemi, diğere tüm çinko alaşımlı kaplama işlemlerinden biraz daha pahalıdır, ancak artan korozyon direnci, maliyet artışını fazlasıyla telafi etmektedir (Sierka, 2015).

Çalışmalar sırasındaki alkali çinko/çinko alaşım kaplama banyolarının parametre ve çalışma aralıkları Tablo 3'de özetlenmiştir.

Tablo 3
Siyanürsüz Alkali Çinko/Çinko Alaşım Kaplama Banyolarının Çalışma Parametreleri ve Aralıkları

Kaplama	Parametre	Çalışma Aralığı
Zn	Zn, g/L	6.0-17.0
	NaOH, g/L	75-112
	Süre, µm/dak.	3
	Sıcaklık, °C	20-40
	Akım, A/dm ²	1-5
Zn-Ni	Zn, g/L	6.0-17.0
	Ni, g/L	1-3
	NaOH, g/L	75-120
	Süre, µm/dak.	3
	Sıcaklık, °C	20-40
Zn-Fe	Zn, g/L	6.0-17.0
	Fe, ppm	50-250
	NaOH, g/L	75-120
	Süre, µm/dak.	3
	Sıcaklık, °C	20-40
	Akım, A/dm ²	1-5

Çinko veya çinko alaşım kaplama sonrasında parçaların durulandığı banyonun pH'ın nötralizasyonunda ağırlıkça %5-6'lık zayıf asit çözeltisi kullanılmaktadır. Nötralizasyon işlemi yaklaşık olarak 30 saniye sürmektedir (Can, 2019).

Çinko kaplama işleminin son aşaması olan pasivasyon işlemi, çinko kaplı yüzeylerde parmak izlerinin oluşmasını engellemek, dekoratif bir görünüm kazandırmak ve kaplamanın korozyon direncini artırmak için kullanılmaktadır. Özellikle tuzlu suyun yaratacağı korozyondan korumak için çinko kaplı parçaların bir kromat tabakasıyla kaplamasına pasivasyon denilmektedir. Çinko kaplı parçaların pasivasyonunda pH'ı 2 olan bir lityum kromat banyosu kullanılmaktadır. Uygulanan formülasyona göre pasivasyon tabakasına dekoratif renkler verilebilmektedir. Korozyon direncini artırmak için organik (reçine) veya inorganik (silikat) esaslı kaplama banyolarında bu katmana şeffaf veya renkli bir koruyucu kaplama da yapılabilmektedir (Can, 2019).

Pasivasyon işlemini takiben yapılan son durulama işleminden sonra parçalar kürlenme fırınına alınmaktadır. Kürlenmede geleneksel ve kızılötesi olmak üzere iki farklı fırın türü kullanılmaktadır. Çalışmalarımız sırasında kurutma fırını sıcaklığı 50-110°C arasında olup, kurutma süresi 3-15 dakika aralığında değişmiştir (Can, 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.

Yüzey hazırlama işleminin ilk aşamasında yağ alma, yıkama, kurutma ve kumlama işlemleri yapılmaktadır.

Yağ alma işleminde metal parçalardaki yağ ve kir tabakasını giderilmektedir. Yağ giderme banyolarında, fosfat ve silikat içeren alkali temizleme kimyasalları kullanılmaktadır. Banyo sıcaklığı 40-80°C olup yağ alma işlemi püskürtme veya daldırma yapılarak uygulanmaktadır.

Durulama basamağında, metal parçaların yüzeyinde yağ alma işleminden sonra kalan alkali kimyasallar ve diğere kirlilikler giderilmektedir. Alkali yağ alma banyosundan taşınacak bir kimyasal çinko lamelli kaplama banyolarının içeriğini kolayca bozabileceğinden, durulama işleminde parçaların kimyasallardan uygun şekilde arındırılması gerekmektedir.

Metal yüzeyinde sıvı veya alkali kalıntı kalmaması için çinko lamel kaplama işleminden önce yapılan durulama işlemi sonrasında parçaların kurutulması önemlidir. Çinko lamelli kaplama banyosuna giren parça yüzeyindeki sıvı, kaplama banyosunun konsantrasyonunu değiştirebilir ve özelliklerini kaybetmesine neden olabilir. Eğer gerekirse kurutulan parçalar kumlama işlemine tabi tutulur.

Çinko lamelli kaplamaya hazırlamak için metal yüzeyde kalmış olabilecek kimyasallar ile parçanın üretimi sırasında oluşmuş olabilecek metal çapakları veya pası gidermede mekanik bir temizleme işlemi olan kumlama kullanılmaktadır. Kumlama işlemi özellikle karmaşık geometrileri olan parçaların temizlenmesinde tercih edilmektedir.

Delta Protekt KL100®, Delta Seal Black®, Delta Seal GZ Black® ve Delta Seal GZ Silver®, sıvı halde ticari olarak temin edilen ve kullanmadan önce uygun bir çözücü veya su ile karıştırılarak hazırlanması gereken çinko lamelli kaplama kimyasallarıdır. Viskozite, sıcaklık ve karıştırma süresi, uygulamadan önce dikkate alınması gereken çok önemli faktörlerdir. Çinko lamel kaplama dört farklı şekilde yapılabilmektedir. 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 tutulmaktadır. Ön kurutma işlemi 60-100°C sıcaklıkta, 6-10 dakikada gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada parça üzerindeki düşük kaynama noktasına sahip uçucu bileşenler buharlaşarak uzaklaştırılmaktadır. Parçaların doğrudan yüksek ısıya tabi tutulmadan önce ön kurutmaya tabi tutulmasıyla, iyi bir kaplama kalitesi ve görünümü elde etmek beklenmektedir.

Parçalar, ön kurutma işleminden sonra kürlenme işlemi için taşıma bandıyla fırına gönderilmektedir. Çinko lamelli kaplı ürünler 300-350°C'de 15-45 dakika süreyle fırında kürlenirler. Kürlenme işleminin ardından parçalar aynı taşıma sistemi kullanılarak soğutma alanına taşınır ve dış hava kullanılarak ortam sıcaklığına soğutulur (Kılınç, 2019). Çinko lamelli kaplama prosesi için istenilen ve ölçülen banyo ve proses ölçüm sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4

Çinko Lamelli Kaplama Prosesi İçin İstenilen ve Ölçülen Banyo Ve Proses Ölçüm Sonuçları

		İstenilen	Ölçülen
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	Sıcaklık, °C	60-100	74
	Süre, dak.	6-10	7
Kürlenme	Sıcaklık, °C	300-350	320
	Süre, dak.	15-45	30

2.1.3. Son Kat Kaplama

Çinko lamelli kaplama işleminden sonra soğuyan ürün son kat kaplama işlemine tabi tutulur. Kullanıma hazır

sıvı kaplama kimyasalları, belirtilen çalışma parametrelerine göre çözücü veya su bazlı çözelti olarak hazırlanır. Son kat kaplama işleminde de çinko lamelli kaplama basamağındaki kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Son kat kaplamaları yapılan parçalar bir taşıyıcı bant üzerine yerleştirilerek kürlenmek üzere fırına gönderilir. Son kat kaplama işlemi için kürlenme süresi 140-180°C'de 15-30 dakikadır (Kılınç, 2019).


2.2. Kaplama Testleri

Kaplamalara uygulanan testler, testlere ait standartlar ve açıklamaları Tablo 5'de özetlenmiştir.

Tablo 5

Kaplama Test Standartları ve Başarı Kriterleri

Test	Test Standardı	Başarı Kriteri
T0	EN ISO 3497	Fischer XDL 230 X-Ray cihazıyla gerçekleştirilmiştir. (Bkz. Şekil 2)
T1	DIN EN ISO 2409	Testin başarı kriteri Ad0 olmalıdır. (Kılınç ve Akyalçın, 2022)
T2	ASTM D 870-02	Testin başarı kriteri Ad0 olmalıdır.
T3	DIN EN ISO 6270-2	Testin başarı kriteri Ad0 olmalıdır.
T4	ASTM D4541	Çekme mukavemeti >200 psi olmalıdır.
T5	EN ISO 2812-3/ Kısım3	İlgili kimyasala (benzin, mazot, fren sıvısı, transmisyon sıvısı) maruz kaldığında, kaplanmış parçaların yüzeyinde renk değişikliği, yapısal yumuşama, lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanma, katmanlara ayrılma ve boyada kopma gibi yüzey kusurları olmamalıdır.
T6	ASTM B 117 ve DIN EN ISO 9227	Kırmızı pas parça yüzeyinin en fazla %5'ni kaplamalı ve boyalı yüzeye çizilen cross-cut bıçağıyla yapılan 'X' şeklindeki çizikteki boya kalkması 4 mm'den daha fazla olmamalıdır.
T7	EN ISO 11997-1 Çevrim B (Kılınç ve Akyalçın, 2022)	Çevrimsel korozyon testi sonunda yüzeyde lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanma, katmanlara ayrılma, boyada kalkma gibi yüzey kusurları bulunmamalı, kırmızı pas parça yüzeyinin en fazla %5'ni kaplamalı ve boyalı yüzeye çizilen cross-cut bıçağıyla yapılan 'X' şeklindeki çizikteki boya kalkması 4 mm'den daha fazla olmamalıdır.
T8	-	Test edilecek parça etüvde 300°C sabit sıcaklıkta, 1 saat süreyle bekletilir. Oda sıcaklığına kadar soğuması beklenir. Etüve konulmamış şahit numune ile kıyaslanır. Teste tabi tutulan parçada, renk değişimi, yapıda yumuşama, lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanarak dökülme, tabakalara ayrılma ve boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları gözlemlenmemelidir.
T0: Kaplama Kalınlığı Ölçümü T1: Yapışma Testi T2: Su Direnci Testi T3: Nem Direnci Testi T4: Çekme Yapışma Testi, psi		T5: Kimyasal Direnç Testi T6: Tuz Sisi Testi T7: Çevrimsel Korozyon Testi T8: Sıcaklık Dayanımı Testi



n= 1	NiZn1=	10,5 µm	Ni 1 =	14,5 ‰	Zn 1 =	85,5
n= 2	NiZn1=	9,9 µm	Ni 1 =	13,8 ‰	Zn 1 =	86,2
n= 3	NiZn1=	10,7 µm	Ni 1 =	14,4 ‰	Zn 1 =	85,6
n= 4	NiZn1=	10,5 µm	Ni 1 =	14,0 ‰	Zn 1 =	86,0
n= 5	NiZn1=	9,8 µm	Ni 1 =	14,3 ‰	Zn 1 =	85,7
Ortalama		10,28 µm	14,2 ‰	85,80 ‰		
Standart Sapma		0,402 µm	0,292 ‰	0,292 ‰		
Fark (Max-Min)		0,90 µm	0,70 ‰	0,70 ‰		
Ölçüm sayısı		5	5	5		
Min. deger		9,8 µm	13,8 ‰	85,5 ‰		
Max. Deger		10,7 µm	14,5 ‰	86,2 ‰		
Ölçüm Süresi		10 sec				

Şekil 2. Fischer XDL 230 X-ray Cihazıyla Yapılan Kaplama Kalınlığı Ölçümü Örneği

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen ve Tablo 5’de verilen testlerin ve yapılan ölçümlerin tamamı, bir aracın kullanımı sırasında maruz kalabileceği koşulların kontrollü ve hızlandırılmış olarak simülasyonu aracın garanti ve kullanım ömrünün belirlenmesine yönelik uluslararası kabul görmüş standart test teknikleridir (Kılınç ve Akyalçın, 2022).

3. Bulgular

Tablo 1-2’de verilen deney planına göre yürütülen deneylerden elde edilen kaplamalar üzerinde yapılan testlerden (Bkz. Tablo 5) elde edilen sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir. Tablo 6’da verilen sonuçlarda ✓ işareti test sonucunun uygun olduğunu × işareti ise test sonucunun uygun olmadığını ifade etmektedir.

Tablo 6
DeneySEL Çalışma Planına Göre Numunelere Uygulanan Testlerden Elde Edilen Sonuçlar

Deney No.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
1	×	✓	×	176	✓	×	×	✓
2	×	✓	×	181	✓	×	×	✓
3	×	✓	×	170	✓	×	×	✓
4	×	×	×	182	✓	×	×	✓
5	×	×	×	164	✓	×	×	✓
6	×	×	×	164	✓	×	×	✓
7	✓	✓	✓	233	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	246	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	226	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	×	276	✓	×	×	✓
11	✓	✓	×	281	✓	×	×	✓
12	✓	✓	×	244	✓	×	×	✓
13	✓	×	×	254	✓	✓	✓	✓
14	✓	×	×	266	✓	✓	✓	✓
15	✓	×	×	257	✓	✓	✓	✓
16	×	✓	×	176	✓	×	×	✓
17	×	✓	×	179	✓	×	×	✓
18	×	✓	×	163	✓	×	×	✓
19	×	×	×	157	✓	×	×	✓
20	×	×	×	158	✓	×	×	✓

21	×	×	×	102	✓	×	×	✓
22	✓	✓	✓	344	✓	✓	✓	✓
23	✓	✓	✓	320	✓	✓	✓	✓
24	✓	✓	✓	325	✓	✓	✓	✓
25	✓	✓	×	356	✓	×	×	✓
26	✓	✓	×	348	✓	×	×	✓
27	✓	✓	×	360	✓	×	×	✓
28	✓	×	×	378	✓	✓	✓	✓
29	✓	×	×	352	✓	✓	✓	✓
30	✓	×	×	367	✓	✓	✓	✓
31	×	✓	×	166	✓	×	×	✓
32	×	✓	×	172	✓	×	×	✓
33	×	✓	×	182	✓	×	×	✓
34	×	✓	×	153	✓	×	×	✓
35	×	✓	×	158	✓	×	×	✓
36	×	✓	×	167	✓	×	×	✓
37	×	✓	×	148	✓	×	×	✓
38	×	✓	×	156	✓	×	×	✓
39	×	✓	×	164	✓	×	×	✓
40	✓	✓	✓	469	✓	✓	✓	✓
41	✓	✓	✓	447	✓	✓	✓	✓
42	✓	✓	✓	458	✓	✓	✓	✓
43	✓	✓	✓	437	✓	✓	✓	✓
44	✓	✓	✓	442	✓	✓	✓	✓
45	✓	✓	✓	463	✓	✓	✓	✓
46	✓	✓	✓	463	✓	✓	✓	✓
47	✓	✓	✓	445	✓	✓	✓	✓
48	✓	✓	✓	439	✓	✓	✓	✓
49	✓	✓	×	494	✓	×	×	✓
50	✓	✓	×	431	✓	×	×	✓
51	✓	✓	×	453	✓	×	×	✓
52	✓	✓	×	466	✓	×	×	✓
53	✓	✓	×	477	✓	×	×	✓
54	✓	✓	×	480	✓	×	×	✓
55	✓	✓	×	492	✓	×	×	✓
56	✓	✓	×	438	✓	×	×	✓
57	✓	✓	×	486	✓	×	×	✓
58	✓	×	×	439	✓	×	×	✓
59	✓	×	×	486	✓	×	×	✓
60	✓	×	×	471	✓	×	×	✓
61	✓	×	×	452	✓	✓	✓	✓
62	✓	×	×	463	✓	✓	✓	✓
63	✓	×	×	455	✓	✓	✓	✓
64	✓	×	×	475	✓	✓	✓	✓
65	✓	×	×	489	✓	✓	✓	✓
66	✓	×	×	477	✓	✓	✓	✓

4. Sonuçlar ve Tartışma

Tablo 1-2’de verilen deneysel çalışma planına göre yürütülerek elde edilen kaplamalara uygulanan test sonuçları Tablo 6’da özetlenmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar ışığında 1-6, 16-21 ve 31-39 deneylerinde yapılan kaplamaların hiçbiri yapışma testini (T1) geçememiştir. Bu kaplamaların ortak yönü alt kaplama türünden bağımsız olarak 8 µm kalınlığında kaplanan Delta Protekt KL100® üst kat kaplamasının altlığa yapışmamasıdır. Bunların haricindeki tüm kaplamalar yapışma testinden geçmiştir.

Su direnci testi (T2)’den geçemeyen kaplamaların, 4-6, 13-15, 19-21, 28-30 ve 58-66 no’lu deneyler, ortak

noktası hiçbirinde ikinci üst kat kaplamanın olmaması ve birinci üst kat kaplamalarının Delta Protekt KL100® ve Delta Seal GZ Silver® olmasıdır.

Nem direnci testi (T3)'den geçemeyen kaplamaların, 1-6, 10-21, 25-39 ve 49-66 no'lu deneyler, ortak yönü ise Delta Protekt KL100® üzerine ikinci kat kaplama olsun olmasın, Delta Seal GZ Black® ve Delta Seal GZ Silver®'ın kaplamalara sahip olmasıdır.

Çekme yapışma testi (T4)'den geçemeyen kaplamalar, T1 testini de geçemeyen kaplamalardır ve ortak noktası alt kaplama türünden bağımsız olarak 8 µm kalınlığında kaplanan Delta Protekt KL100® üst kat kaplamaya sahip olmasıdır.

Kimyasal direnç testi (T5)'den tüm kaplama türleri başarıyla geçmiştir.

Hem tuz sis testi (T6) hem de çevrimsel korozyon testini (T7) geçemeyen kaplamalar aynı olup, 1-6, 10-12, 16-21, 25-27, 31-39 ve 49-60 no'lu deneylerin ortak yönü Delta Protekt KL100® üzerine ikinci kat kaplama olsun olmasın ve Delta Seal GZ Black® kaplamaya sahip olmasıdır.

Sıcaklık dayanım testi (T8)'den tüm kaplama türleri başarıyla geçmiştir.

Tablo 6'da verilen test sonuçları değerlendirildiğinde, 7-9, 22-24 ve 40-48 numaralı deneylerde üretilen kaplamaların tüm testleri başarıyla geçtiği görülmektedir.

Zn, Zn-Fe ve Zn-Ni elektrokaplama türlerinin her bir grubunda da korozyon testlerini geçen ve geçemeyen kaplamalar olmuştur. Bu nedenle çelik plakanın korozyon performansını belirleyen en önemli etmenin çinko/çinko alaşım kaplamadan daha çok çinko lamelli kaplamanın türü olduğu sonucuna varılmıştır.

Tüm testlerden başarıyla geçen ve en iyi çok katmanlı kaplama performansı gösteren tüm alkali çinko ve alkali çinko alaşım alt kaplamaların ortak paydası alt kaplama üzerine birinci üst kat kaplama olarak uygulanan 20µm kalınlığındaki çözücü bazlı çinko lamelli kaplama olan Delta Seal Black® kaplamadır. Çekme yapışma testi sonuçları dikkate alındığında ise bu grup içerisindeki en iyi kaplama performansına %12-15 nikel içeriğine sahip alkali çinko nikel kaplama üzerine birinci üst kat kaplama olarak uygulanan Delta Seal Black® kaplamalarla ulaşılmıştır.

Otomobil üreticilerinin teknik şartnamelerinde belirttiği ve tuz sisi, çevrimsel korozyon ve sıcaklık dayanım testlerindeki istekleriyle kıyaslandığında çalışmamız kapsamında üretilen ve testlerden başarıyla geçen tüm kaplamalar, otomobil üreticilerinin isteklerinden daha yüksek performans göstermiştir.

Tablo 7'deki firma isimleri ticari bilgi olması sebebiyle saklı tutularak verilmiş ve çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz korozyon dayanım testi sonuçlarıyla

kıyaslanmıştır.

Tablo 7

Otomobil üreticilerinin korozyon dayanım testlerine ait beklentileri ve çalışmamızdan elde edilen sonuçlar.

Firma	Tuz sisi	Çevrimsel Korozyon	Sıcaklık Dayanım Testi
A	480 saat	28 çevrim	En çok 120°C
B	720 saat	42 çevrim	En çok 120°C
C	600 saat	35 çevrim	En çok 120°C
D	384 saat	18 çevrim	En çok 120°C
Çalışmamız	>750 saat	> 63 çevrim	300°C

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

Elde edilen sonuçlar ışığında konuyla ilgili yapılan patent başvurusu sonucunda Türk Patent ve Marka Kurumundan 2017/11527 başvuru numarasıyla patent alınmıştır.

Destek/Teşekkür

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

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Ahmet CAN, 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

Barbossa, L. L. ve Carlos, I. A. (2006). Development of a novel alkaline zinc-iron plating bath containing sorbitol and the chemical, physical and morphological characterization of the Zn-Fe films, Surface & Coating Technology, 201, 1695-1703. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.02.050>

Can, A., (2019). Alkali ve Alaşımli Çinko Kaplama Üzerine Solvent Bazlı Lamelli Kaplama Uygulaması ile Oluşacak Dupleks Kaplamanın Korozyon ve Ömür Testine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi,

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 56.

Chandrasekar, M. S., Srinivasan, S. ve Pushpavanam, M. (2008). Properties of Zinc alloy electrodeposits produced from acid and alkaline electrolytes, *J. Solid State Electrochem* 13, 781-789. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-008-0607-2>

Delta Seal / Delta Seal Gz Description. (2022). Erişim Adresi: <https://www.deltagbn.co.uk/libraryfile/download/FLWLGF>

Kılınc, 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, 88.

Kılınc, M. ve Akyalçın, L. (2022). Kataforez Kaplamalı Çelik Yüzelelere Uygulanan Dupleks Kaplamanın Korozyon Dayanım Performansı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30 (1), 68-78. doi: <https://doi.org/10.31796/ogummf.981120>

Maniam, K. K. ve Paul, S. (2021). Corrosion Performance of Electrodeposited Zinc and Zinc-Alloy Coatings in Marine Environment, *Corros. Mater. Degrad.*, 2, 163-189. doi: <https://doi.org/10.3390/cmd2020010>

Pushpavanam, M. (2000). Critical Review on Alloy Plating: A Viable Alternate to Conventional Plating, *Bulletin of Electrochemistry*, 16, 12, 559-566. Erişim adresi: https://krc.cecri.res.in/ro_2000/35-2000.pdf

Sierka, C. E. (2015). Industrial Zinc Plating Processes, Yüksek Lisans Tezi, Indiana University of Pennsylvania, Pennsylvania, 61.

Zaki, N. (1994). Zinc Alloy Plating, *ASM Handbook Volume 5: Surface Engineering*, 264-266. doi: <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v05.a0001257>