



# DÜZCE ÜNİVERSİTESİ

# BİLİM ve TEKNOLOJİ DERGİSİ

Düzce University  
Journal of  
Science & Technology

e-ISSN: 2148-2446

---

Cilt  
Volume

**10**

Sayı  
Issue

**5**

Aralık/December  
**2022**

---

**Düzce Üniversitesi**  
**BİLİM ve TEKNOLOJİ DERGİSİ**  
**DÜBİTED**

<http://dergipark.org.tr/dubited>



**Düzce University**  
**JOURNAL of SCIENCE & TECHNOLOGY**  
**DUBITED**

<http://dergipark.org.tr/dubited>

**Sahibi**

*Owner*

Ali ÖZTÜRK (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü)

(D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına)

(On behalf of D. U. Institute of Graduate Programs)

**Editör**

*Editor*

Uğur GÜVENÇ  
Resul KARA  
Pınar GÜLTEKİN  
Ahmet DEMİR  
Suat SARIDEMİR  
Ümit AĞBULUT

**Yardımcı Editörler**

*Assistant Editors*

Berfin ŞENİK  
Mertkan TEKİNALP  
Özlem ÖZKAN ÖNÜR  
Vesile YALÇIN  
Keziban GEGİN  
Ufuk ÇİFCİ  
Ahmet AYTEĞİN  
Nisa KAPLAN  
Gamze ÇOBAN

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**

*Publishing Manager*

Ali ÖZTÜRK

**Yayın Kurulu**

*Editorial Board*

Ahmet Bora KIRKLIKÇI, Karamanoğlu Mehmet Bey  
Üniversitesi, Türkiye  
Ahmet DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ali ÇALHAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ali Etem GÜREL, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Alper ERGÜN, Karabük Üniversitesi Teknoloji  
Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği, Türkiye  
Arif ÖZKAN, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

Aytaç AYDIN, Karadeniz Teknik Üniversitesi,  
Türkiye  
Emre ÇELİK, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Engin EROĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Fatih YILMAZ, Bayburt Üniversitesi, Türkiye  
Fuat KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
G. Alev ÖZKÖK, Hacettepe Üniversitesi, Türkiye  
Hakan ARSLAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Harun BAYRAKDAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Hüseyin BUDAK, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
İrem DÜZDAR ARGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Koray ŞARKAYA, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye  
Mecit AKSU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Mehmet ŞİMŞEK, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Melike ERDOĞAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Mert YILDIRIM, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Metin TOZ, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi,  
Türkiye  
Mevlüt ERSOY, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye  
Muhammet GÜL, Munzur Üniversitesi, Türkiye  
Murat EYVAZ, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Murat Kadir YEŞİLYURT, Bozok Üniversitesi,  
Türkiye  
Mustafa KARAGÖZ, Karabük Üniversitesi, Türkiye  
Mustafa DAYI, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Nuray Benli YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Nuri ŞEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Pınar GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Resul KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Revna ACAR VURAL, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Salih Tunç KAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Semih ÖZDEN, Milli Savunma Üniversitesi, Türkiye  
Sercan SERİN, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi,  
Türkiye  
Serhat DUMAN, Bandırma Onyediy Eylül  
Üniversitesi, Türkiye  
Sinan TOKLU, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Tikendra Nath VERMA, Maulana Azad National  
Institute of Technology, Hindistan  
Turgay BİRTÜRK, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ümit AĞBULUT, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ümit ERGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Ümit YURT, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Yasin ŞALE, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Yaşar Selman GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Yusuf ALTUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

---

**Ulusal Danışma Kurulu**  
*National Advisory Board*

Adem ACIR, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
Adem ÇİÇEK, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye  
Arif ÖZKAN, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye  
Devrim AKGÜN, Sakarya Üniversitesi, Türkiye  
Elif UZ, Uludağ Üniversitesi, Türkiye  
Ercan ÖZGAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Erol BURDURLU, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
Ethem TOKLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Fahri VATANSEVER, Uludağ Üniversitesi, Türkiye  
Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
H.Hüseyin CİRİTCİOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Hakan AKTAŞ, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye  
Hakan ALTINÇEKİÇ, İstanbul Üniversitesi, Türkiye  
Hakan HOCAOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye  
İbrahim YÜCEDAĞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
İlyas UYGUR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
İsmail TORÖZ, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye  
İsmet YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Mehmet BUDAKÇI, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Memiş IŞIK, Karabük Üniversitesi, Türkiye  
Meral KEKEÇOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Muharrem GÖKÇEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Murat KALE, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Murat SİPAHİOĞLU, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye  
Mustafa OKUTAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Raşit TURAN, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Türkiye  
Salih TOSUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Selçuk ÖZMEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Seyhan FIRAT, Gazi Üniversitesi, Türkiye  
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye  
Yasin KIŞIOĞLU, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye  
Yusuf AVCI, Bahçeşehir Üniversitesi, Türkiye  
Zeki DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye

---

**Uluslararası Danışma Kurulu**  
*International Advisory Board*

Abdelilah SLAOUİ, Université de Strasbourg, France  
Clay S. GLOSTER, North Carolina A&T University,  
USA



Daniel BREAZ, University of Alba Lulia, Romania  
Luis ROSEIRO, Coimbra Institute of Engineering,  
Portugal  
Marwan BIKDASH, North Carolina A & T State  
University, USA  
Sadık ARTUNÇ, Mississippi State University, USA  
Salim HIZIROĞLU, Oklahoma State University, USA  
Thomas C. CULBRETH, North Carolina State  
University, USA

---

<b>Cilt</b> <i>Volume</i>	<b>10</b>	<b>Sayı</b> <i>Issue</i>	<b>5</b>	<b>Aralık / December</b> <b>2022</b>
------------------------------	-----------	-----------------------------	----------	---

---

## Ürün Bilgisi

### *Product Information*

---

<b>Yayıncı</b> <i>Publisher</i>	Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü <i>Düzce University Institute of Graduate Programs</i>
<b>Sahibi</b> <i>Owner</i>	Ali ÖZTÜRK (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü) (D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına) <i>(On behalf of D. U. Institute of Graduate Programs)</i>
<b>Sorumlu Yazı İşleri Müdürü</b> <i>Publishing Manager</i>	Ali ÖZTÜRK
<b>Web Sayfası</b> <i>Web Page</i>	<a href="http://dergipark.org.tr/dubited">http://dergipark.org.tr/dubited</a>
<b>Basım Tarihi</b> <i>Date of Publication</i>	Aralık 2022 <i>December 2022</i>
<b>Yayın Dili</b> <i>Language</i>	Türkçe / İngilizce <i>Turkish / English</i>
<b>Yayın Aralığı</b> <i>Frequency</i>	Yılda dört kez yayınlanır <i>Published four times in a year</i>
<b>Yayın Türü</b> <i>Type of Publication</i>	Sürelî yayın <i>Periodical</i>
<b>e-ISSN Numarası</b> <i>e-ISSN Number</i>	2148-2446

---

**Yazışma Adresi**

Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim  
Enstitüsü Rektörlük Binası 3. Kat 81620  
Düzce/TÜRKİYE

Telefon: +90 380 542 12 08

Fax: +90 380 542 12 38

E-posta: [dubitedyayin@duzce.edu.tr](mailto:dubitedyayin@duzce.edu.tr)

<http://dergipark.org.tr/dubited>  
adresinden dergiye ilişkin bilgilere ve  
makalelerin tam metnine ulaşılabilir.

***Correspondence Address***

*Düzce University Institute of  
Graduate Programs Rectorship  
Building 3rd Floor 81620  
Düzce/TURKEY*

*Phone: +90 380 542 12 08*

*Fax: +90 380 542 12 38*

*E-mail: [dubitedyayin@duzce.edu.tr](mailto:dubitedyayin@duzce.edu.tr)*

*Instructions for authors and all  
articles in this journal can be  
reached at  
<http://dergipark.org.tr/dubited>*

---

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

## Makale

### BİLGİSAYAR / YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ

#### Araştırma Makalesi/ Research Article

- 42-51 Bölütleme Kullanarak Doğal Görüntülerde Metin Tanıma  
Text Recognition in Natural Images Using Segmentation  
Yeliz ŞENKAYA, Çetin KURNAZ

#### Derleme Makale / Review Article

### ÇEVRE/ZİRAAT/JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

#### Araştırma Makalesi/ Research Article

- 10-25 Türkiye Gönüllü Karbon Piyasaları'nın Değerlendirilmesi  
Evaluation of Voluntary Carbon Markets in Turkey  
Burcu ERGÜN YÜKSEL, Mustafa ÖZCAN, Elif OCAKLI
- 65-76 Bozdağ Formasyonu (Ladik-Konya) Karbonatlarının Petrografik ve Jeokimyasal Özelliklerine Göre Diyajenetik Gelişimi  
Diagenetic Development of Bozdağ Formation (Ladik-Konya) Carbonates According to Petrographic and Geochemical Properties  
Ali Müjdat ÖZKAN, Adnan DÖYEN

### ELEKTRİK/ELEKTRONİK / ELEKTRİK ELEKTRONİK/ ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ

#### Araştırma Makalesi/ Research Article

- 26-31 Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilen DP1200 Çeliğinin Kaynak Metali Sertlik Değeri Üzerinde Kaynak Parametrelerinin Etkisinin İstatistiksel Analizi  
Statistical Analysis of the Effect of Welding Parameters on the Weld Metal Hardness Value of DP1200 Steel Combined with Resistance Spot Welding  
Medine Nur TÜRKOĞLU ELİTAŞ, Muhammed ELİTAŞ
- 52-64 5G Uygulamaları için Eliptik Mikroşerit Anten Tasarımı  
Elliptical Microstrip Antenna Design for 5G Applications  
Mustafa MUTLU, Çetin KURNAZ

## **ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ/ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

### **Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 32-41 Uygulamalı Eğitim Modeli İçin Firma Seçim Kriterlerinin Belirlenmesi ve Bir Sanayi Üniversitesinde Vaka Çalışması  
Determination of Company Selection Criteria for an Applied Education Model and a Case Study at an Industrial University  
Sema ÇİFTÇİ, Mehmet PINARBAŞI, Hacı Mehmet ALAKAŞ

## **İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ / MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

### **Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 91-106 Cam Tozu ve Uçucu Kül Katkılı Harçların Zamana Bağlı Elektriksel Özdirenç ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi  
Investigation of Time-Dependent Electrical Resistivity and Mechanical Properties of Glass Powder and Fly Ash Additive Mortars  
Behçet DÜNDAR, Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI, Turhan Can KARCI, Atahan DÖNMEZ
- 114-126 Alkali ile Aktive Edilmiş Cüruf ve Uçucu Kül Harçlarına Yüksek Sıcaklık Sonrası Hava Kürünün Etkisi  
The Effect of Post-Fire Air Curing on Alkali-Activated Slag and Fly Ash Mortars  
Rabia Gizem SERTBAKAN, İsmail İsa ATABEY, Uğur DURAK, Serhan İLKENTAPAR, Okan KARAHAN, Cengiz Duran ATİŞ
- 137-145 Investigation of Engineering Properties of Lightweight Concrete Made With the Addition of Sodium Salt Based Powder Additive  
Sodyum tuzu esaslı toz katkı ilavesi ile üretilen hafif betonların mühendislik özelliklerinin araştırılması  
Serkan SUBASI, Heydar DEHGHANPOUR, Betül ISBILIR, Muhammed MARASLI

## **MAKİNE / MEKATRONİK /MALZEME / ENDÜSTRİ / İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

### **Araştırma Makalesi/ Research Article**

- 1-9 32CRMOV12-10 Çeliğinin Elektro Erozyon Tezgâhında Delme Performansının İncelenmesi  
Investigation of Electro-Discharge Driling Performance of 32CRMOV12-10 Steel  
Gökhan BEDİR, Engin NAS

- 77-90 A Study on Object Detection and Tracking of a Mobile Robot Using  
*CIE L\*a\*b\** Color Space  
CIE *CIE L\*a\*b\** Renk Uzayı Kullanan Mobil Robotun Nesne  
Algılama ve Takibi Üzerine Bir Çalışma  
**Gokhan ATALI, Meltem EYUBOGLU**
- 107-113 Lastik Karışımlarında Klasik ZnO Yerine Aktif ZnO Kullanımının  
Bazı Fizikomekanik Özelliklere Etkilerinin Araştırılması  
Investigation of the Effects of Active ZnO Instead of Conventional  
ZnO on Some Physico- mechanical Properties in Tires Compounds  
**Gasim Altundal, Esra Çetin, Metin Kuru, Tuğçe Görmüşer, Hüsnü Gerengi,  
İlyas Uygur**
- 127-136 Debriyaj Diski Dış Ana Sac Batma Prosesinin Etkilerinin  
İncelenmesi  
Investigation of The Effects of Sinking Process on The Clutch  
Outer Main Plate  
**Ömer YILDIZ, Caner EŞ, Serdar AKBULUT, Ulaşcan KURT, İbrahim Can  
KAYMAZ, Hüseyin ÇAKILI**







# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## 32CRMOV12-10 Çeliğinin Elektro Erozyon Tezgâhında Delme Performansının İncelenmesi

 Gökhan BEDİR <sup>a,\*</sup>,  Engin NAS <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Dr. Engin PAK Cumayeri MYO, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gokhanbedir81@gmail.com

doi: 10.29130/dubited.1087895

### ÖZ

Bu çalışmada, 32CrMoV12-10 çeliğinin elektro erozyon işleme yöntemi kullanılarak farklı işleme parametrelerinde talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın deney tasarımı Taguchi L<sub>27</sub> dizilimi kullanılarak oluşturulmuş ve deneylerde üç farklı elektrot malzeme, üç farklı amper sayısı (10, 20, 30 A), üç farklı vurum süresi (200, 400, 600 µs), sabit talaş derinliği (1 mm) ve bekleme süresi (50 µs) işleme parametreleri kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonrasında elektrot malzemelerinin malzeme yüzeyinde oluşturduğu delik çaplarının ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda en düşük delik çap oluşumu tüm elektrot malzemeleri ile gerçekleşen deneylerde 200 µs ve 10 amper akımda, en büyük delik çapının ise yine aynı şekilde tüm elektrot malzemelerinde 600 µs ve 30 amper akımda olduğu belirlenmiştir. Elektrot malzemeleri içerisinde en küçük delik çapının bakır malzemede 12,2101mm ve en büyük delik çapının grafit malzemede 12,6551mm ölçülmüştür. İstatistiksel olarak sinyal gürültü oranları incelendiğinde delik çapının en ideal ölçüde oluşması için optimum işleme parametresinin elektrot malzemesi için bakır, amper değeri için 10 A ve vurum süresi için ise 200 µs olarak belirlenmiştir. Varyans analiz (ANOVA) sonuçları incelendiğinde delik çapı üzerine etkin işleme parametresinin %69,72 oranında vurum süresinin olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektro erozyon işleme, Delik çapı, Taguchi metot

## Investigation of Electro-Discharge Drilling Performance of 32CRMOV12-10 Steel

### ABSTRACT

In this study, machining of 32CrMoV12-10 steel was carried out using the electro-erosion machining method at different machining parameters. The experimental design of the study was created using the Taguchi L<sub>27</sub> array, and three different electrode materials, three different amperes (10, 20, 30 A) and three different impact times (200, 400, 600 µs), fixed depth of cut (1 mm) and dwell. (50 µs) processing parameters were used. After the experiments carried out, the measurements of the hole diameters formed by the electrode materials on the material surface were made and the results obtained were examined experimentally and statistically. As a result of the study, it was determined that the lowest hole diameter formation occurred at 200 µs and 10 ampere current in the experiments performed with all electrode materials, and the largest hole diameter occurred at 600 µs and 30 ampere current in all electrode materials. Among the electrode materials, the smallest hole diameter was 12,2101mm in copper material and the largest hole diameter was 12,6551mm in graphite material. When the signal-to-noise ratios are examined statistically, the optimum processing parameter for the ideal size of the hole diameter was determined as copper for the electrode material, 10 A for the amperage value and 200 µs for the pulse duration. When the

analysis of variance (ANOVA) results were examined, it was determined that the most effective machining parameter on the hole diameter was 69,72% of the impact time.

*Keywords: Electro erosion machining, Hole diameter, Taguchi method*

## **I. GİRİŞ**

Elektro erozyon işleme yöntemi (EEİ), dielektrik bir sıvı içerisinde tamamen daldırılmış birbirine dokundurulmadan bir konuma yerleştirilen iletken elektrot ile iş parçası arasında oluşan bir kıvılcımın iş parçası yüzeyinden çok küçük kraterleri eriterek buharlaştırması esasına dayanır [1].

Elektro erozyon işleme yöntemi daha çok kalıpcılık sektöründe kullanıldığı için bu alandaki araştırmaların azlığı bu alana olan ilgiyi oldukça artırmıştır. Ülkemizde bu alanda çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Olan çalışmalar ise belli başlı kalıp malzemeleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte imalat sanayinde kullanılan malzemelerin çeşitliliği de artmış ve bu çeşitlilik artan bu malzemelerin yüksek sıcaklık dayanımı, mukavemet, sertlik ve karmaşık geometriler gibi özellikleri de bu malzemelerin geleneksel işleme yöntemleriyle işlenmesini zorlaştırarak yeni üretim yöntemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. En fazla tercih edilen yeni üretim yöntemlerinden biri, EEİ yöntemidir [2, 3]. Elektro-erozyonla işleme yöntemleri dalma ve tel erozyon olarak iki temel yönteme ayrılır: Her ikisi de tüm iletken metallerin, alaşımların ve birçok metal karbür malzemenin işlenmesi için kullanılır [4]. EEİ ile ilgili çalışmalar gözden geçirildiğinde, çalışmaların genellikle performans çıktılarına odaklandığı görülmüştür. İmalat sanayinin özellikle düşük işleme zamanı, düşük maliyet ve yüksek kalite beklentilerini karşılamaya yönelik çalışmalarda, iş parçası işleme hızının (IHH), elektrot aşınma hızının (EAH) ve bağıl aşınmanın (BA) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) çıktısının artırılmasına özel önem verilmiştir [5].

Geleneksel imalat yöntemleriyle işlenmesi zor veya imkânsız olan sert malzemeleri ve karmaşık geometrilere sahip parçaları kolaylıkla işleyebildiğinden, bu işleme yönteminin uygulama alanı özellikle takım, kalıp, uzay, havacılık ve otomotivde hızla genişlemektedir. İşleme sırasında elektrot ile iş parçası arasında temas olmadığından kesme kuvvetlerinin olumsuz etkileri (hassasiyet bozuklukları, deformasyon vb.) olmaz. Bu nedenle işleme sırasında kırılabilir hassas ve kırılğan parçaların işlenmesinde EEİ yöntemi önemli bir yere sahiptir. Hatta eğimli yüzeylerde bu yöntem kullanılarak çok küçük delikler açılabilir [6]. Mevcut süreçlerle işlenmesi zor olan metal işleme, zaman ve maliyette önemli tasarruflar sağlamaktadır [4]. Günümüzde EEİ yöntemi ile üretilen enjeksiyon kalıpları, dövme kalıpları, ekstrüzyon kalıpları, pres kalıpları, toz sıkıştırma kalıpları, cıvata başı dövme kalıpları bu yöntemin kullanıldığı genel örneklerdendir [7]. Bunlara ek olarak EEİ yönteminin kullanım alanını genişletmek için 30-50 mm çapında dönen bir elektrotla delik işleme [8], dielektrik sıvı içerisinde karıştırılmış metal tozları ile yüzey bitirme işlemi [9], kompozit elektrotla yüzey modifikasyonu [10], çevresel işleme [11] gibi yapılmış çalışmalar mevcuttur.

Bu çalışmada, 32CrMoV12-10 çeliğinin elektro erozyon tezgâhında farklı işleme parametrelerinde (üç farklı vuruş süresi (200, 400 ve 600 µs), bekleme süresi (50 µs) ve amper sayısı (10, 20 ve 30 amper) kullanarak) aşındırma işlemi gerçekleştirilerek elektrot malzemesinin malzeme yüzeyinde oluşturduğu delik çaplarının istenilen ölçü tamlığında oluşması için optimum işleme şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## **II. YÖNTEM**

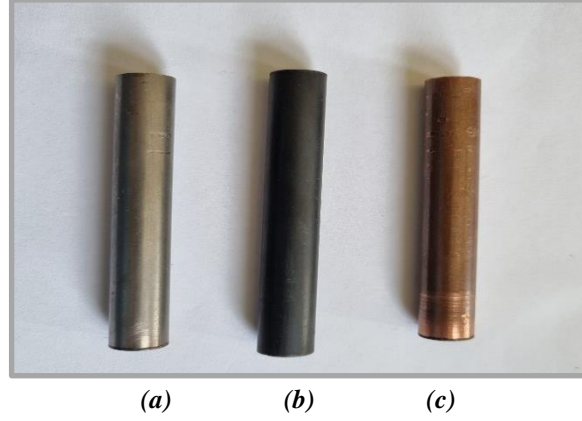
### **A. MALZEME VE ELEKTROT**

İşlenebilirlik deneyleri King marka ZNC – K-3200 dalma erozyon tezgâhı kullanılarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada iş parçası olarak Ø15 X 10 mm ebatlarında DIN 32CrMoV12-

10 malzeme, elektrot malzemesi olarak sırasıyla 8,9 gr/cm<sup>3</sup>, 1,8 gr/cm<sup>3</sup>, 15,2 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip Ø12 X 100 mm (Şekil 1) elektrolitik bakır, grafit ve tuncop kullanılmıştır. Deneylerde iş parçası olarak kullanılan 32CrMoV12-10 çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 1’ de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Deneysel çalışmada kullanılan 32CrMoV12-10 malzemenin kimyasal bileşimi.

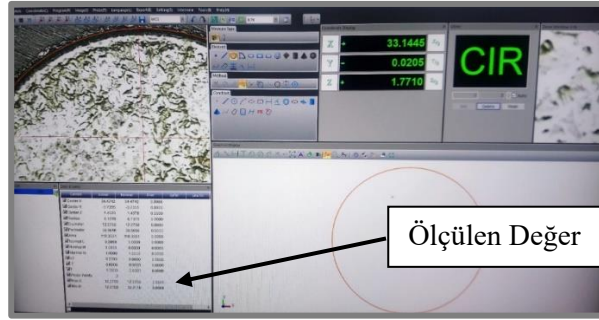
C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	V %
0.32	0.35	0.60	3.00	1.00	0.30



**Şekil 1.** Deneysel çalışmada kullanılan elektrolitik bakır (a), grafit (b) ve tuncop (c)

## B. DELİK ÇAPI ÖLÇÜMLERİ

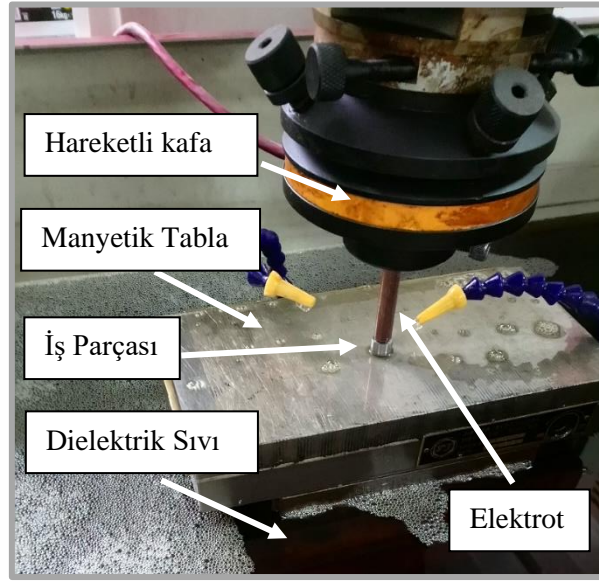
Elektrotların malzeme yüzeylerinde oluşturduğu aşınmalar sonucu oluşan delik çapları, Rational marka VMS-4030G (Video Measurement System) cihazıyla 1/10000 hassasiyette 3 farklı ölçüm yapıp bunların aritmetik ortalamaları hesaplanarak belirlenmiştir.



**Şekil 2.** Delik çaplarının ölçülmesinde kullanılan video ölçüm cihazının ölçüm anındaki görüntüsü.

## C. DENEY PARAMETRELERİ

Deneyler, tam faktöriyel tasarım yöntemine ve Taguchi Orthogonal Array Design L<sub>27</sub> (3<sup>3</sup>)’ e göre tasarlanmış ve ön deneyler sonrasında kullanılan parametreler üç farklı bekleme süresi, amper ve vuruş süresi olarak tanımlanmıştır (Şekil 3). Deneysel çalışmada kullanılan faktörler ve düzeyleri Tablo 2’ de gösterilmiştir.



Şekil 3. Deney parametrelerinin belirlenmesi için ön deneylere başlama ve gerçekleştirme aşamasındaki görüntüsü.

Tablo 2. Kontrol faktörleri ve seviyeleri.

Faktör	Simge	Seviyeler	Değerler
Elektrot	A	3	Bakır; Grafit; Tuncop
Ton (Vurum Süresi), ( $\mu s$ )	B	3	200; 400; 600
Amper (Akım), (A)	C	3	10; 20; 30
Toff (Bekleme Süresi), ( $\mu s$ )	D	1	50

### III. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZİ

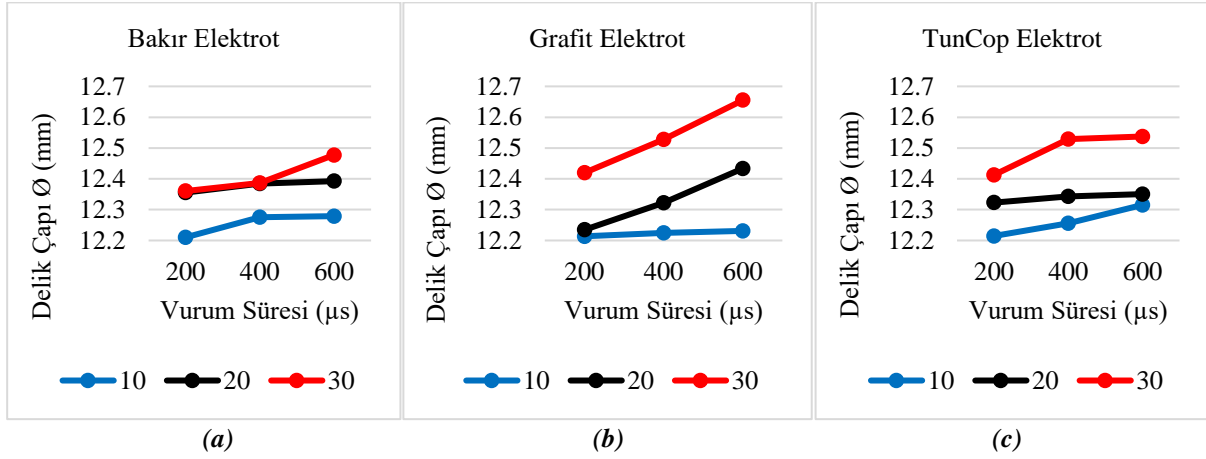
Elektro erozyon ile aşındırma işlemi gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda elde edilen ortalama delik çapları Tablo 3’ de gösterilmektedir.

Tablo 3. Deneysel çalışma sonrasında elde edilen ortalama delik çapları.

Deney No	Amper (A)	Time On ( $\mu s$ )	Delik Çapı $\varnothing$ (mm)		
			Elektrot		
			Cu	Gr	TunCop
1.	10	200	12,2102	12,2136	12,2147
2.	10	400	12,2758	12,2247	12,2556
3.	10	600	12,2789	12,2311	12,3154
4.	20	200	12,3554	12,2345	12,3229
5.	20	400	12,3848	12,3221	12,3433
6.	20	600	12,3925	12,4336	12,3504
7.	30	200	12,3605	12,4196	12,4128
8.	30	400	12,3869	12,5278	12,5292
9.	30	600	12,4774	12,6551	12,5374

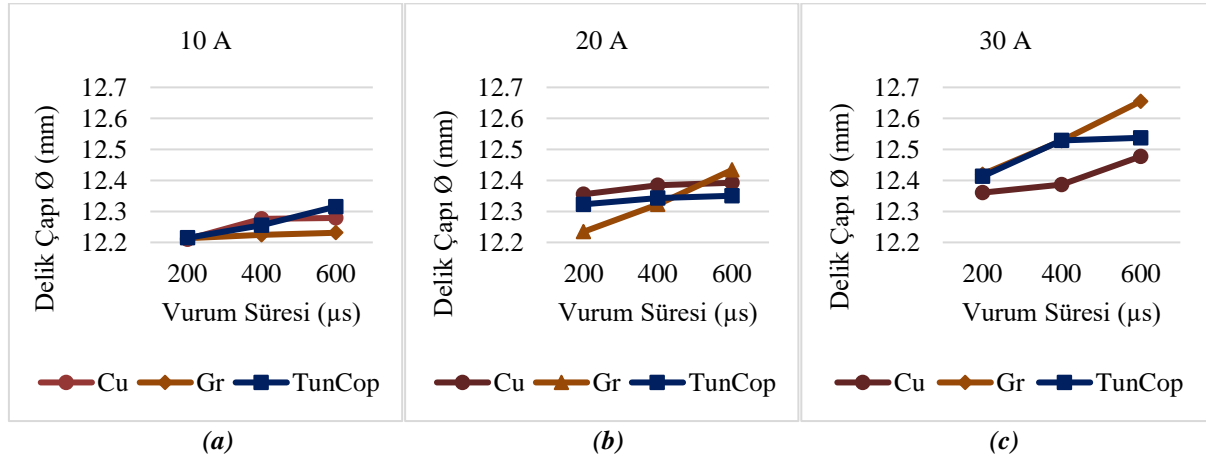
Tablo 3 incelendiğinde bakır, grafit ve tuncop elektrot için en düşük ortalama delik çapı değerleri

200  $\mu$ s vurum süresi ve 10 amper akımda sırası ile 12,2102 mm, 12,2136 mm ve 12,2147 mm olarak oluşmuştur. Bakır, grafit ve tuncop elektrot malzeme ile gerçekleşen deneylerde en büyük delik çapının ise 600  $\mu$ s vurum süresi ve 30 amper akımda 12,4774 mm, 12,6551 mm ve 12,5374 mm olarak oluştuğu belirlenmiştir. Bakır, grafit ve tuncop elektrotun Tablo 3’ de gösterilen ortalama delik çapı değerleri vurum sürelerine bağlı olarak Şekil 4’ de, 10, 20 ve 30 amperde vurum sürelerine bağlı olarak elektrotların malzeme yüzeyindeki çap değişimleri Şekil 5’ de ve elektrot malzemelerinin 10, 20 ve 30 amper değerinde vurum süresine bağlı olarak çap değişimleri ise Şekil 6’ da grafik haline dönüştürülmüştür.



Şekil 4. Bakır (a), grafit (b) ve tuncop (c) elektrotun vurum sürelerine bağlı ortalama delik çapı değerleri

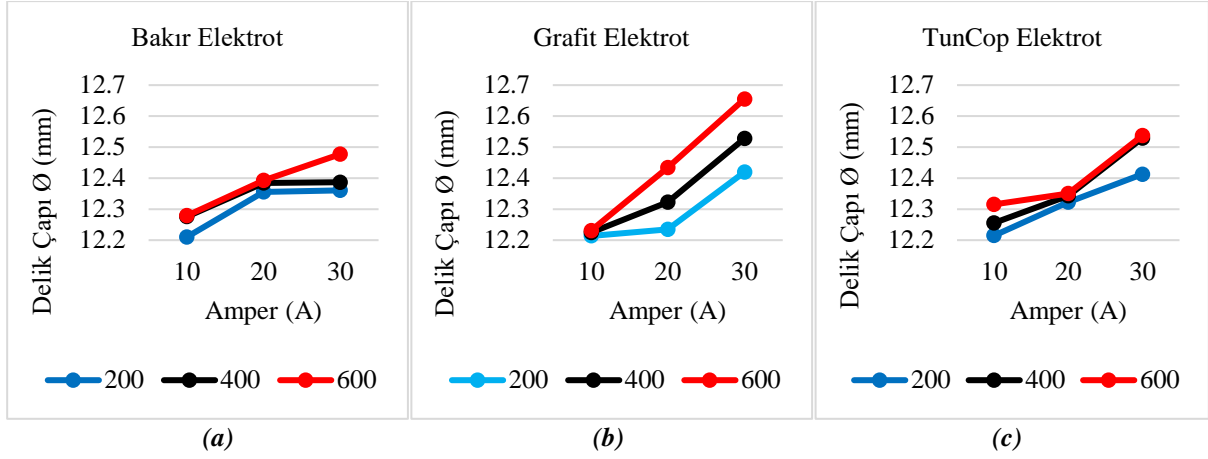
Şekil 4’ deki grafik incelendiğinde 10, 20 ve 30 amperde bakır, grafit ve tuncop elektrot malzemeleri için vurum süresi arttıkça delik çaplarının büyüdüğü tespit edilmiştir.



Şekil 5. 10 (a), 20 (b) ve 30 (c) amperde vurum sürelerine bağlı olarak elektrotların malzeme yüzeyindeki çap değişimleri

Şekil 5’ deki grafik incelendiğinde 10, 20 ve 30 amperde vurum süresi arttıkça delik çaplarının büyüdüğü tespit edilmiştir. Vurum süresindeki artış işleme boşluğunda daha büyük kıvılcıklar oluşturmuş ve aynı sürede daha fazla malzemenin buharlaşıp iş parçasından koparılmasına sebebiyet vermiştir [3].





**Şekil 6.** Elektrotların 10, 20 ve 30 amper değerinde vurum süresine bağlı olarak çap değişimleri. (a) Bakır, (b) Grafit, (c) TunCop

Şekil 6’ daki grafik incelendiğinde bakır, grafit ve tuncop elektrot malzemeleri için vurum süresine bağlı olarak amper sayısı arttıkça delik çaplarının büyüdüğü tespit edilmiştir. Amper sayısı arttırıldığında elektrot delik boyunca aynı konumlardan aynı zaman diliminde daha fazla boşalım enerjisi ile kıvılcım oluşturmakta ve dolayısı ile daha fazla malzemenin işlenmesini sağlayarak delik çapını arttırmaktadır. [3].

## A. TAGUCHİ METODU

Tanımlanmış parametrelerle deneylerin planlanması, deneysel parametrelerin elde edilen deneysel sonuçlar üzerindeki etki derecesinin belirlenmesi ve optimal deneysel parametrelerin belirlenmesi, Taguchi metodu kullanılarak yapılabilir [12]. Taguchi, kontrol faktörü seviyesinin çalışma karakteristiğini faktörlere ölçmek için amaç fonksiyon değerlerini sinyal-gürültü oranına (S/N) dönüştürür. S/N oranı, istenen sinyalin istenmeyen rastgele gürültü değerine oranı olarak tanımlanır ve deneysel verilerin kalite karakteristiğini temsil eder. S/N oranlarının hesaplanmasında; karakteristik tipine bağlı nominal en iyidir, en büyük en iyidir, en küçük en iyidir metotları kullanılır. Eşitlik (2)’te “en büyük en iyidir”, Eşitlik (3)’te ise “en küçük en iyidir” amaç fonksiyonu verilmiştir [13].

$$\text{En büyük en iyi} \quad \frac{S}{N} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

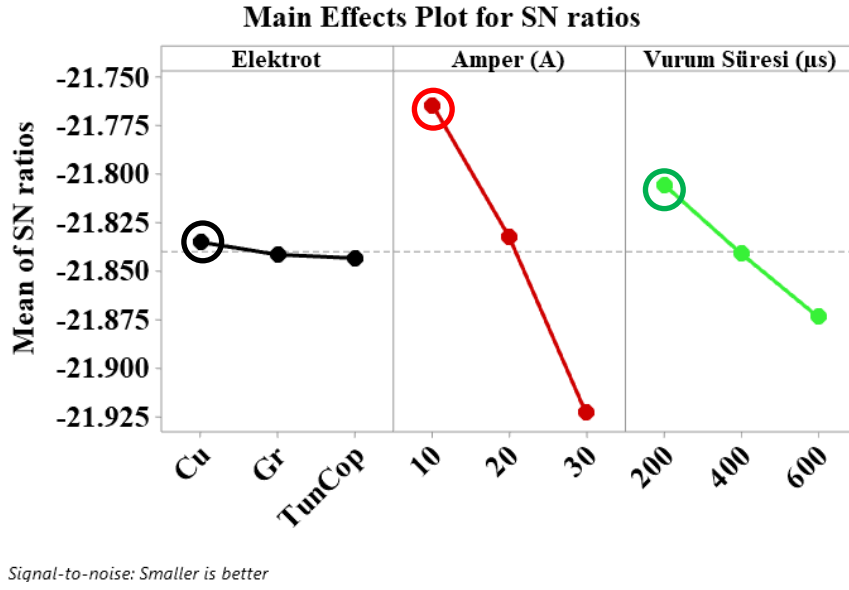
$$\text{En küçük en iyi} \quad \frac{S}{N} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2)$$

## B. SİNYAL GÜRÜLTÜ ORANI

Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar Minitab 19 istatistik programı ile analiz edilmiş ve sinyal gürültü oranları Tablo 4’de gösterilmiştir. Tablo halinde verilen değerlerin yorumlanması için sonuçlara grafik haline dönüştürülmüş ve Şekil 7’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Sinyal/Gürültü oranları

Level	Elektrot	Amper (A)	Vurum Süresi ( $\mu s$ )
1	-21,83	-21,76	-21,81
2	-21,84	-21,83	-21,84
3	-21,84	-21,92	-21,87
Delta	0,01	0,16	0,07
Rank	3	1	2



**Şekil 7.** Sinyal gürültü analizi grafiği

Şekil 7' deki grafikler incelendiğinde delik çapı üzerinde değişkenlerin önem sıralamasının amper, vurum süresi ve elektrot malzemesinin olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6' daki grafikleri desteklediği görülmektedir.

### C. VARYANS ANALİZİ

DeneySEL verileri yorumlamak ve parametrelerin etki oranlarını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) istatistiksel yöntemleri kullanılmıştır. ANOVA, test edilen parça gruplarının ortalama performansı arasındaki farkları ortaya çıkarmak için kullanılan istatistiksel bir araçtır. ANOVA kullanarak hangi faktörlerin hangi süreç için etkili olduğunu istatistiksel olarak ortaya çıkarabilirsiniz. ANOVA' nın amacı, incelenen faktörün kaliteyi ölçmek için seçilen çıktı değerini ne kadar etkilediğini ve farklı seviyelerin ne tür bir değişkenliğe neden olduğunu ortaya çıkarmaktır [14].

**Tablo 5.** Anova Sonuçları

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Elektrot	2	0,001677	0,48%	0,001677	0,000838	0,30	0.744
Amper (A)	2	0,243043	69,72%	0,243043	0,121521	43,45	0.000
Vurum Süresi (µs)	2	0,047934	13,75%	0,047934	0,023967	8,57	0.002
Error	20	0,055931	16,05%	0,055931	0,002797		
Total	26	0,348585	100,00%				
R-sq		%83,95					

Tablo 5' deki anova sonuçları incelendiğinde kontrol faktörlerinin birbirleri ile etkileşimleri incelendiğinde en etkili parametrenin %69,72 ile amper faktörünün etkili olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışma incelendiğinde ise amper miktarının artması ile delik çapında artış olduğu görülmektedir. Bu durum amper miktarındaki artış malzeme yüzeyinden talaş kaldırma işlemi esnasında işlenen malzeme yüzeyinde büyük hasar oluşturmasına neden olmaktadır [15].

### D. REGRESYON ANALİZİ

Regresyon analizi, deneysel çalışmalarda kontrol ve deneysel faktörler arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılır. Aynı zamanda analiz edilecek değişkene göre daha kolay veya daha erken tespit edilebilen değişkenlere dayalı olarak istenilen değişkeni tahmin eden bir modelin oluşturulmasıdır [16].

Regresyon analizi sonuçlarından elde edilen matematiksel modeller Tablo 6’ da sunulmaktadır. Bu modeller ile farklı parametrelerle yapılacak deneylerde oluşacak deliğin çapı hakkında önceden bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır. Bu da şirketlerde zaman ve enerji kaybını önlemeye yardımcı olacaktır. Yapılan analiz, çok değişkenli regresyon sınıfına girmektedir. Üç nicel değişken arasındaki ilişki ölçülmüştür.

*Tablo 6. Regresyon analizi sonuçlarından elde edilen matematiksel modeller*

Elektrot	
Cu	= 12,0290 +
Gr	Delik Çapı (mm) = 12,0388 + 0,000244 Vurum Süresi ( $\mu s$ ) + 0,01131 Amper (A)
Tuncop	= 12,0410 +

## **IV. SONUC**

Elektro erozyon tezgâhında 32CrMoV12-10 çeliğinin bakır, grafit ve tuncop elektrotlar kullanılarak delme performansının incelendiği çalışmada, elde edilen sonuçlar maddeler halinde belirtilmiştir.

- En düşük delik çap oluşumu tüm elektrot malzemeleri ile gerçekleşen deneylerde 200  $\mu s$  ve 10 amper akımda, en büyük delik çapının ise yine aynı şekilde tüm elektrot malzemelerinde 600  $\mu s$  ve 30 amper akımda oluştuğu belirlenmiştir.
- Elektrot malzemeleri içerisinde en küçük delik çapının bakır elektrot malzemedeki 12,2101mm ve en büyük delik çapının grafit elektrot malzemedeki 12,6551mm olarak oluşmuştur.
- İstatiksel olarak sinyal gürültü oranları incelendiğinde delik çapının en ideal ölçüde oluşması için optimum işleme parametresinin elektrot malzemesi için bakır, amper değeri için 10 A ve vurum süresi için ise 200  $\mu s$  olarak belirlenmiştir.
- Anova analizleri incelendiğinde işleme parametrelerinde en etkili parametrenin %69,01 ile vurum süresi olarak tespit edilmiştir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] L.S. Chen, H.B Yan and Y.F. Huang, “Influence of kerosene and distilled water as dielectrics on the electric discharge machining characteristics of Ti–6Al–4V,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 87, no. 1-3, pp. 107-111, 999.
- [2] V. Yılmaz, H. Dilipak, M. Özdemir ve G. Uzun, “Hadfield çeliğine elektro erozyon ile işleme yöntemiyle mikro derin deliklerin delinmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi,” *2 International Symposium On Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES)*, Karabük, Türkiye, Jan. 18-20 2014.
- [3] V. Yılmaz, “Experimental investigation of drillability of micro holes using electro discharge machining,” Ph. D. dissertation, *Gazi University Graduate School Of Naturel And Applied Sciences*, Turkey, 2013.
- [4] M.G. Her and F.T. Weng, “Micro-hole machining of copper using the electro-discharge machining process with a tungsten carbide electrode compared with a copper electrode,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol 17, no.10, pp. 715-719, 2001
- [5] V. Yılmaz, M. Özdemir ve H.Dilipak, “AISI 1040 çeliğinin elektro erozyon ile işleme

yöntemiyle delinmesinde işleme parametrelerinin temel performans çıktıları üzerindeki etkilerinin incelenmesi,” *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi PART C: Tasarım ve Teknoloji*, c. 3, s. 1, ss. 417-426, 2015.

[6] G.F. Benedict, “Nontraditional machining processes,” *New York and Basel Marcel Dekker*, pp. 207-229, 1987.

[7] A. Özgedik, “Elektro erozyon ile işlemede tezgâh, iş parçası ve elektrot üzerinde uygulanmış modifikasyonlar,” *Teknolojik Araştırmalar*, c. 11, ss. 19-38, 2014.

[8] R.K. Springborn, “Non-traditional machining processes,” *American Society of Tooland Manufacturing Engineers*, Dearborn Michigan, pp. 105-133, 1967.

[9] N. Mohri, N. Saito, M. Suzuki and T. Takawashi, “Surface modification by EDM-an innovation in EDM with semi-conductive electrodes,” *The American Society of Mechanical Engineers, Research and Technological Developments in Nontraditional Machining*, vol. 34, pp. 21-30, 1988.

[10] N. Mohri, N. Saito and Y. Tsunekawa, “Metal surface modification by electrical discharge machining with composite electrode,” *Annals of the CIRP*, vol. 42, no. 1, pp. 219-222, 1993.

[11] K. Saito, T. Kishinami, H. Konno and M. Sato, “Development of numerical contouring control electric discharge machining (NCC-EDM),” *Annals of the CIRP*, vol. 35, no. 1, pp.117-120, 1986.

[12] V. Erdem, M. Belevi, ve C. Koçhan, “Taguchi metodu ile plastik enjeksiyon parçalarda çarpılmanın en aza indirilmesi,” *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 12, ss. 17-29. 2010.

[13] E. Nas ve S. Akıncıoğlu, “Kriyojenik işlem görmüş nikel esaslı süper alaşımın elektro-erozyon işleme performansı optimizasyonu,” *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, c. 7, s. 1, ss. 115- 126, 2019.

[14] Y. Yıldız, “Biyomedikal uygulamalar için magnezyum-kalsiyum (mg-0.8ca) alaşımının dalma elektro erozyon ile işlenmesi,” *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 55, ss. 147- 168, 2017.

[15] A. Kumar, V. Kumar, and J. Kumar, “Investigation of microstructure and element migration for rough cut surface of pure titanium after WEDM,” *International Journal of Microstructure and Materials Properties (IJMMP)*, vol. 8, no. 4-5, pp. 343-356, 2013.

[16] C.R. Alpar, *Spor, Sağlık ve eğitim Bilimlerinden Örneklerle Uygulamalı İstatistik ve Geçerlik-Güvenirlilik*, Ankara, Türkiye: Detay Yayıncılık, 2010, ss. 285-304.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Türkiye Gönüllü Karbon Piyasaları'nın Değerlendirilmesi

 Burcu ERGÜN YÜKSEL<sup>a,\*</sup>,  Mustafa ÖZCAN<sup>b</sup>,  Elif OCAKLI<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

<sup>c</sup> Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: burcuergun94@gmail.com

doi: 10.29130/dubited.1101215

### Öz

Karbon piyasaları emisyon azaltım taahhütlerinin gerçekleşmesi için kullanılan ve yenilenebilir enerji kullanımını teşvik eden mekanizmalardan biridir. Bu çalışma kapsamında Türkiye'deki Gönüllü Karbon Piyasaları'nın durumu incelenerek piyasa hacmi analiz edilmiş, bu mekanizmanın kullanımının yaygınlaştırılması için öneriler sunulmuştur. Türkiye'de, 2005 yılından itibaren birçok yenilenebilir enerji projesi Gönüllü Karbon Piyasaları'nda işlem görmektedir. Buna karşılık, Gönüllü Karbon Piyasaları'nda kayıtlı santral kurulu gücü, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesinin altındadır. Türkiye'nin 2019 yılı yenilenebilir enerji kaynağı kurulu gücü 44.774,6 MW iken Gönüllü Karbon Piyasaları'nda kayıtlı yenilenebilir enerji projelerinin gücü 9.375,8 MW'dır. Kayıtlı projelerin 2020 yılı itibarıyla emisyon azaltım miktarları toplamı 17,44 MtCO<sub>2</sub> eşd.'dir. Mevcut durumda Gold Standart kullanılarak ihraç edilen sertifikaların yaklaşık %55'i itfa edilmiştir. Firmaların karbon emisyonlarını yönetmesi için gönüllü piyasaları kullanması teşvik edilmelidir. Bu teşvik, söz konusu firmaların çevresel sürdürülebilirliğe önem veren bir vizyona sahip olmalarını sağlayarak karbon nötre ulaşmalarını sağlarken, aynı zamanda gönüllü piyasaların da hacmini arttıracaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Gönüllü karbon piyasası, Karbon piyasaları, Sera gazı emisyonları, Sürdürülebilirlik

## Evaluation of Voluntary Carbon Markets in Turkey

### ABSTRACT

Carbon markets are one of the mechanisms used to realize emission reduction commitments and promote the use of renewable energy. Within the scope of this study, evaluation of the Voluntary Carbon Markets in Turkey has been made, the market volume has been analyzed and suggestions have been presented for scaling up of these markets. In Turkey, many renewable energy projects have been developed in Voluntary Carbon Markets since 2005. Nonetheless, renewable power plant capacity that is registered in the Voluntary Carbon Markets is below Turkey's renewable power capacity. In 2019, Turkey's renewable power capacity was 44,774.6 MW, and the registered renewable project capacity in Voluntary Carbon Markets was 9,375.8 MW. The total amount of emission reductions of registered projects as of 2020 is 17.44 MtCO<sub>2</sub> eq. Approximately 55% of the certificates issued using the Gold Standard have been redeemed. Companies should be encouraged to use the voluntary carbon markets for managing their carbon emissions. This incentive will ensure that these companies have a vision that attaches importance to environmental sustainability, and achieve carbon neutrality, while at the same time increasing the volume of voluntary carbon markets.

**Keywords:** Voluntary carbon market, Carbon markets, Greenhouse gas emissions, Sustainability



# I. GİRİŞ

Küresel ısınmanın neredeyse kontrol edilemez duruma geldiği günümüzde, birçok ülke iklim acil durumunu ilan etmiştir. 2019 yılı küresel sıcaklık, ortalamaların 1,1 C° üzerine çıkarak 2016 yılından sonraki en sıcak yıl olmuştur [1]. Nüfus artışının ve sanayileşmenin gelişmesiyle birlikte artan çevre sorunlarının iklim değişikliği üzerindeki etkileri küresel iklim değişikliği göstergeleri ile takip edilmektedir. Bu göstergelerden biri olan atmosferik sera gazı konsantrasyonlarındaki artış, küresel ısınmanın en önemli sebeplerinden biri olup çoğunlukla insan kaynaklı faaliyetler sonucunda meydana gelmektedir [2]. Enerji sektörü başta olmak üzere birçok endüstriyel faaliyetlerde fosil yakıt tüketimi sonucu oluşan sera gazı emisyonları, atmosferde birikerek sera etkisini arttırmaktadır [3]. Dünya genelinde, 2020 yılında enerji sektörü kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının 2019 yılına oranla %5,8 düşerek 31,5 Gt olduğu görülse de 1990 yılının emisyon verilerine bakıldığında CO<sub>2</sub> miktarının yaklaşık %53 oranında arttığı görülmektedir [4]. CO<sub>2</sub> emisyonlarının azalmasında önemli bir etkisi olan yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK), 2019 yılında %27 olan elektrik üretimindeki payı, 2020 yılında %29'a yükselmiştir. Yaşanan bu değişiklik ve pandemi etkisiyle, enerji sektörü kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonları %3,3 oranında azalarak geçmiş yıllara oranla en yüksek orandaki düşüş gerçekleşmiştir [4].

Avrupa Birliği (AB), Avrupa Yeşil Mutabakatı'nda Avrupa'nın 2050 yılında iklim nötr hale gelmesi için belirlenen hedefi Avrupa İklim Yasası ile kanun haline getirmiştir. Yasa AB'nin 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını azaltarak 1990 yılındaki emisyon seviyelerinin %55 oranında altına düşürme hedefini de kapsamaktadır. İklim nötrlüğünün sağlanması için, emisyonların azaltılması ve yeşil teknolojilere yatırım yapılması gerekmektedir [5].

Türkiye'nin 2019 yılı sera gazı emisyon değeri 506,1 milyon ton (Mt) CO<sub>2</sub> eşdeğeri (eşd.) olarak hesaplanmıştır. 2019 yılı sera gazı emisyonlarının, 1990 yılında 219,6 MtCO<sub>2</sub> eşd. olarak hesaplanan sera gazı emisyonlarına göre yaklaşık %130 arttığı görülmektedir [6].

Türkiye, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) sekreteryasına 2015 yılında sunduğu niyet edilmiş ulusal katkı beyanında, sera gazı emisyonlarını 2030 yılında referans senaryoya göre %21 oranında azaltacağını belirtmiştir [7]. Bu hedef kapsamında 2030 yılına kadar güneş enerjisi santralleri (GES) kurulu gücünün 10 GW'a, rüzgar enerjisi santralleri (RES) kurulu gücünün 16 GW'a çıkarılması, mevcut hidroelektrik santral (HES) kurulu güç potansiyelinin tümünün kullanılması, bir nükleer enerji santralinin devreye alınması, elektrik iletim ve dağıtım kayıplarının %15'e düşürülmesi hedeflenmektedir [8].

İklim değişikliği ile mücadele kapsamında uluslararası olarak ilk adım 1979 yılında 1. Dünya İklim Konferansı ile atılmıştır. 1990'lı yıllar ile birlikte küresel anlamda iklim değişikliği ile mücadelenin daha da önem kazanmasıyla birlikte 1992 yılında BMİDÇS Rio Zirvesi'nde kabul edilmiş ve 1994 yılında yürürlüğe girmiştir [9]. Türkiye bu sözleşmeye 2004 yılında taraf olmuştur [10]. BMİDÇS bağlamında, yükümlülüklerine göre ülkeler EK-1 Ülkeleri, EK-2 Ülkeleri ve EK-1 Dışı Ülkeler olarak 3 gruba ayrılarak birtakım sorumluluklar almışlardır [11]. BMİDÇS sera gazlarının sebep olduğu emisyonların azaltılmasına yönelik politika ve programlar önerse de taraf ülkeler emisyon hedeflerini sağlayamamıştır. 1997 yılında Japonya'nın Kyoto kentinde düzenlenen Konferansta imzalanan Kyoto Protokolü (KP) ile sözleşmedeki eksiklikler tamamlanmaya çalışılmıştır [12].

KP, hukuki olarak bağlayıcılık içermekte ve protokolün eklerine bağlı olarak ülkelere emisyon azaltım hedefleri koymaktadır [12]. KP'de, ülkelerin belirlenen sera gazı azaltım hedefleri daha düşük maliyetle gerçekleştirmelerini sağlamak için Zorunlu Karbon Piyasaları çerçevesinde Emisyon Ticaret Sistemi (ETS), Temiz Kalkınma Mekanizması (CDM) ve Ortak Yürütme (JI) olmak üzere 3 esneklik mekanizması oluşturulmuştur [11].

KP taahhüt dönemlerinin bitmesiyle birlikte 2020 yılı sonrasında iklim değişikliği ile mücadelede rol oynayacak Paris Anlaşması (PA), Paris'te gerçekleştirilen 21. Taraflar Konferansı'nda 12 Aralık 2015'te kabul etmiştir. Uluslararası anlamda 22 Nisan 2016'da imzaya açılmış olup 4 Kasım 2016'da

yürürlüğe girmiştir [13]. Türkiye PA'yı 22 Nisan 2016 tarihinde imzalamış, 7 Ekim 2021 tarihinde onaylamıştır [7]. Anlaşmaya göre ülkelerin tamamı sorumluluklar üstlenerek kendi kapasitelerine göre planlar belirleyecek ve bu planları içeren Ulusal Katkı Beyanları (NDC)'ni BMİDÇS sekreteryasına sunacaklardır [8].

Özellikle karbon piyasaları ile ilgili olan, gönüllü işbirliği/pazar ve piyasa temelli olmayan yaklaşımları tanımlayan PA'nın 6. maddesi, taraflar arasındaki gönüllük esasına dayalı işbirliklerini ifade etmekte ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve sürdürülebilir kalkınmanın desteklenmesine yönelik düzenlemeler içermektedir [8]. 2021 BM İklim Değişikliği Konferansı (COP26)'da 6. madde kapsamında yapılan düzenleme ile gelecek yıllarda emisyon piyasalarının güvenilirliğini sağlayan, ülkeler arasındaki denkleştirme emisyonlarının potansiyel mükerrer sayımını önleyecek bir sistem olacaktır. Eski CDM kredileri sınırlanacak, bu pazarlara daha fazla güvenilirlik kazandırılacak, karbon dengelemenin genel fiyatı artacak böylece emisyon azaltımı teşvik edilecektir [14]. COP26'da kömür tüketimini azaltmayı hedefleyen ilk anlaşma olan Glasgow İklim Anlaşması'nın imzalanmasıyla, 40'tan fazla ülke kömür santrallerini aşamalı olarak sonlandırmayı kabul ederken, 23 ülke yeni santral kurmamayı taahhüt etmiştir. COP26'da emisyon hedeflerini sınırların çok altına düşüren ülkelerin, hedeflerini sağlayamayan ülkeler ile emisyon ticareti yapabileceği ve ülkelerin 2024 yılına kadar emisyon envanterlerini ayrıntılı olarak tutacakları ifade edilmiştir [15].

Günümüzde iklim değişikliğinin etkisini azaltmak için global ölçekte farklı yükümlülükler gerektiren çalışmalar yapılmıştır. BMİDÇS ve KP gibi anlaşmalar imzalanmış ve iklim değişikliği ile mücadele kapsamında maliyet göz önünde bulundurularak karbon piyasaları ortaya çıkmıştır. Karbon piyasaları KP kapsamındaki Zorunlu Karbon ve Gönüllü Karbon Piyasaları olmak üzere iki kısımda ele alınmaktadır. İklim değişikliğine karşı mücadele kapsamında imzalanan sözleşmeler ve protokollerin de önerdiği karbon piyasaları birçok ülkede uygulanmaktadır. Dünya'nın en büyük çok uluslu karbon ticaret sistemi olan Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (AB ETS) tüm Avrupa ülkelerinde, İzlanda, Lihtenştayn ve Norveç'te uygulanmaktadır. Avrupa Komisyonu, AB ETS ile 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarında en az %55 azaltmayı hedeflemektedir [16], [17]. Gönüllü Karbon Piyasaları, diğer karbon piyasasından tamamen bağımsız olarak işlem görmektedir. Türkiye'de Gönüllü Karbon piyasalarına yönelik projeler 2005'te geliştirilmeye başlanmıştır.

Dünya genelinde ve Türkiye'de karbon piyasaları ile ilgili gerçekleştirilmiş çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Çalışmalar karbon vergilerini, Gönüllü Karbon Piyasaları'nı, karbon ticaret sistemlerini konu alırken, çalışmaların bir kısmı sistemlerin verimliliklerini ölçmekte, bir kısmı da Türkiye gibi karbon yönetim sistemi olmayan ülkelerde uygun sistemin seçilmesine yönelik araştırmaları içermektedir.

Yılmaz tarafından gerçekleştirilen çalışmada [18], karbon ticareti hakkında bilgi verilmiş, Dünya'da ve Türkiye'de karbon ticaretinin uygulanması ile ilgili durum değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, daha etkili bir emisyon azaltımı için YEK kullanım hedeflerinin ve yenilenebilir enerji fiyatlarının yeniden düzenlenmesi gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca karbon stokunun takip edilebildiği, karbon azaltım potansiyelinin tespit edilebileceği ve kurumlar için karbon ayak izlerinin belirlenerek kurumsal stratejilerin oluşturulacağı bir karbon yönetim sisteminin kurularak kamuda zorunlu hale getirilmesi önerilmektedir. Böyle bir sistemin, ülkenin stratejik enerji yaklaşımının, yenilenebilir enerji potansiyelinin ve karbon hedeflerinin belirlenmesine fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Bu sistemin mevcut durumdaki gönüllü piyasaları güvenilirlik açısından daha cazip hale getireceği ve Zorunlu Karbon Piyasaları'na geçiş açısından kolaylık sağlayacağı ön görülmektedir.

Ulusoy ve Şen tarafından gerçekleştirilen çalışmada [19], karbon ticaret sisteminin firma değerine olan etkisi 20 firma için yapılan analiz sonucu değerlendirilmiştir. Yapılan regrasyon analizi ile karbon emisyonlarını azaltma projelerinin ve politikalarının firma değerini doğrudan etkileyerek arttırdığı tespit edilmiştir.

Can tarafından gerçekleştirilen çalışmada [20], Gönüllü Karbon Piyasaları'nda faaliyette bulunan projelerin paydaş katılımları bir değerlendirme şablonu aracılığıyla incelenmiştir. Şablon, temsil edilen

paydaşlar, paydaş katılımı için uygulanan yöntem, sürecin şeffaflığı, paydaşların görüşleri ve şikayet mekanizması gibi birçok değerlendirme maddesi içermektedir. Çalışmada 2016 yılına kadar gönüllü piyasalarda işlem gören projelerin sayılarına yer verilirken, Gold Standart (GS) için hazırlanan proje dosyaları incelenmiştir. Söz konusu dosyalarda paydaş katılım davetlerinin yazılı olarak yapıldığı, yazılı davetlerin okuma yazma oranının düşük olduğu bölgelerde yetersiz kalacağı belirtilmiştir. Proje toplantılarına katılan katılımcı sayısının kadın nüfusu başta olmak üzere düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca incelenen dosyalara göre yalnızca bir dosyada paydaş görüşüne göre değişiklik yapılmış olması paydaş görüşlerine önem verilmediğini göstermektedir.

Cankır ve diğ. tarafından gerçekleştirilen çalışmada [21], uluslararası gönüllü karbon standartları karşılaştırılarak incelenmiştir. Çalışmada, GS, Verified Carbon Standard (VCS) 2007 ve Verified Emission Reductions (VER+) ön plana çıkan standartlar olmuş, VCS standardı %71 oranında en çok kabul gören standart olarak belirlenmiştir.

Chen tarafından gerçekleştirilen çalışmada [22] Gönüllü Karbon Piyasaları'nın işleyişi ve temel zorlukları araştırılmıştır. Bu araştırma kapsamında Gönüllü Karbon Piyasası analiz edilmiş, paydaşlarla görüşülmüştür. Piyasaların şeffaflığı ve kalitesi paydaşlar için önemli iken, piyasadaki protokollerin yüksek maliyetinin de pazarın büyümesine engel olduğu görülmüştür. Çalışmaya göre piyasaların kalitesinin maliyeti arttıracak şekilde iyileştirilmeye çalışılması pazarı olumsuz etkileyecektir. Pazardaki paydaşların gönüllü karbon kredisi olarak çevreye önem veren firma profillerine sahip olmalarının önemli olduğu ve bu profilin sağlanması için paydaşların teşvik edilmesi gerektiği ifade edilmektedir.

Bu çalışma çerçevesinde Türkiye'deki Gönüllü Karbon Piyasaları'nın kullanım düzeyi değerlendirilmiştir. Bu kapsamda çalışmanın ikinci bölümünde karbon piyasaları incelenmiştir. Üçüncü bölümde, Türkiye'de projelerin çoğunluğunun kayıt ettirildiği gönüllü karbon piyasa standartları olan GS ve Verra standartları kullanılarak Türkiye'de geliştirilen gönüllü karbon projelerinin gelişimi incelenmiştir. Ayrıca gönüllü karbon sertifikalarının kullanım yerleri açıklanmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde GS ve Verra standartları kullanılarak geliştirilmiş olan yenilenebilir enerji projelerinin analizi sonucu elde edilen sonuçlar verilmiştir. Beşinci bölümde yapılan literatür taraması ve gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre Türkiye'nin Gönüllü Karbon Piyasaları'ndaki durumu değerlendirilmiştir. Altıncı bölümde konu bağlamında öneriler sunulmuştur.

## **II. KARBON PİYASALARI**

Karbon fiyatlandırması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin önlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Karbon fiyatlandırması, sera gazı emisyonları üzerine bir fiyat uygulanması esasına dayanmakta olup, PA'nın küresel iklim değişikliğini azaltma konusundaki hedeflerine ulaşmada en etkili araç olarak görülmektedir [23].

Karbon fiyatlandırması sera gazı emisyonlarını azaltmanın yanı sıra devlet gelirlerini artırmak için de kullanılabilir. Karbon fiyatlandırmasından elde edilen gelirler kamu politikası için ön planda olup hükümetlerin mali ve çevresel hedeflerine hizmet edebilmektedir. Bu nedenle günümüzde birçok ülkede karbon fiyatlandırma mekanizması kullanılmaktadır. Karbon fiyatlandırma mekanizmasını uygulayan ülkelerin artmasıyla ve karbon vergisi uygulayan ülkelerin yıllara oranla karbon fiyatını arttırması sebebiyle Dünya genelinde karbon fiyatlandırmasından elde edilen gelir düzeyi artmaktadır [23]. Karbon fiyatlandırma mekanizmaları Tablo 1'de verilmiştir [16], [24], [25], [26].

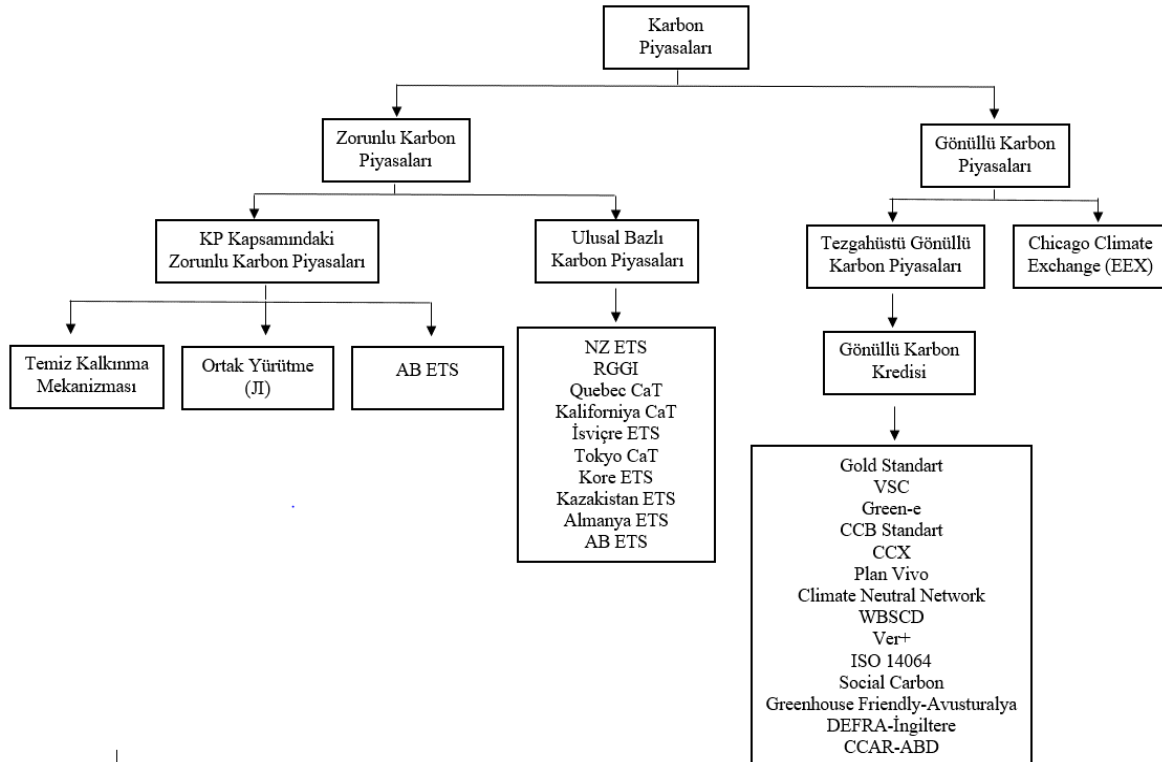
Karbon piyasaları, Zorunlu ve Gönüllü Karbon Piyasaları olmak üzere iki ana başlıkta ele alınmaktadır. Bu piyasalara ait detaylar Şekil 1'de verilmiştir.

**Tablo 1. Karbon fiyatlandırma mekanizmaları**

<b>Karbon Vergisi</b>	Emisyonlar üzerine belirli bir fiyat uygulamaktadır. Fosil yakıt maliyetini yükselterek fosil yakıt tüketimini ve buna bağlı olarak CO <sub>2</sub> emisyonlarını azaltmaktadır [23]. Yakıt, enerji verimliliği, daha düşük karbon yoğunluklu ürünlere geçiş veya emisyon üreten faaliyetlere talebin azalması yoluyla kirleticilere emisyonlarını azaltım için teşvik sağlamaktadır.
<b>ETS</b>	ETS, KP kapsamında geliştirilmiş olup sera gazı emisyonlarının seviyeleri ile ilgilidir. ETS'nin tercih edilmesinin nedeni emisyon azaltım faaliyetlerinin düşük maliyet ile gerçekleştirilmesidir [22].
<b>Karbon Kredilendirme Mekanizması</b>	Karbon kredilendirme mekanizmaları, emisyon azaltma faaliyetlerini gönüllü olarak uygulayan aktörlere ticarete konu olan emisyon birimleri veren girişimlerdir. Kredilendirme birimleri karbon vergileri veya ETS'lerle ilişkilendirilebilmektedir [22].
<b>RBCF</b>	Sonuçlara Dayalı İklim Finansmanı (RBCF), önceden tanımlanmış ve üzerinde anlaşmaya varılmış hedeflerin doğrulanması sonucu, fonların alıcıya iklim finansmanı sağlayıcısı tarafından verildiği bir finansman türüdür [8].
<b>Dahili Karbon Fiyatlandırması</b>	Düşük karbonlu yatırımlarda maliyet tasarruflarını ve gelir fırsatlarını tespit etmekte kullanılmaktadır. İşletmeler, zorunlu karbon fiyatlarının işlemleri üzerindeki etkisini değerlendirmek ve potansiyel maliyet tasarrufu ile gelir fırsatlarını tespit etmek üzere bir araç olarak dâhili karbon fiyatlandırmasını kullanmaktadır [26].

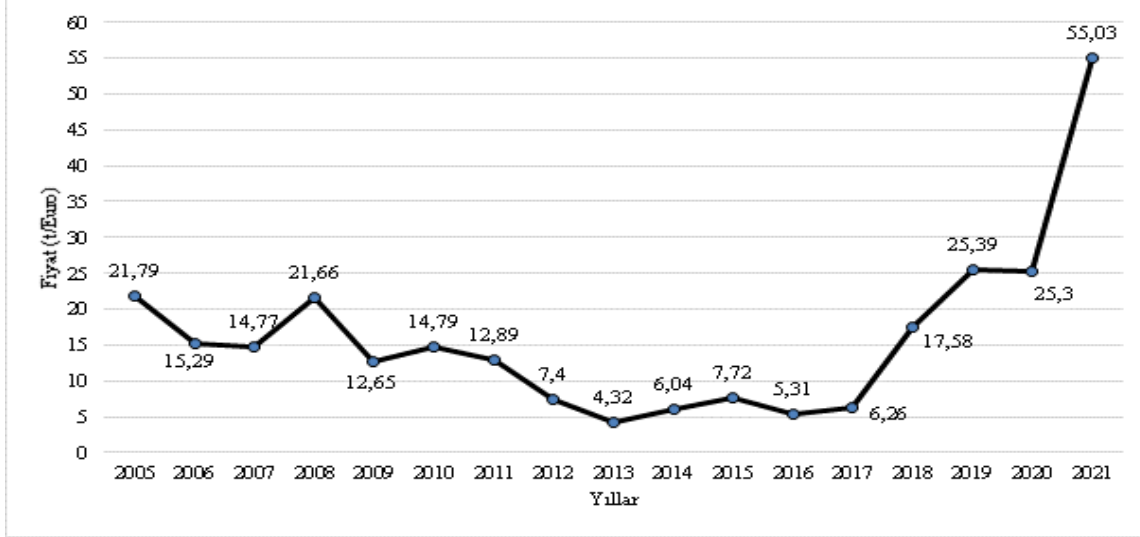
## A. ZORUNLU KARBON PİYASALARI

KP kapsamında ve ulusal bazda olmak üzere iki çeşit Zorunlu Karbon Piyasası mevcuttur. ETS, KP'nin 14. Maddesine bağlı olarak emisyon azaltım yükümlülüğü alan ülkelere emisyon hedeflerini gerçekleştirmelerinde kolaylık sunmaktadır [3].



**Şekil 1. Karbon piyasaları [11], [27], [28]**

AB ETS’de 2005 – 2021 yılları arasında toplam 30.557,89 MtCO<sub>2</sub> eşd. Doğrulanmış emisyon mevcuttur [28]. Şekil 2’de AB ETS’nin başlangıcından itibaren 2021 yılına kadar olan fiyat değişimleri yıllık ortalama değerler ile verilmiştir. AB ETS’de en düşük fiyat 2013 yılında 4,32 t/Euro olarak kayıtlara geçmiştir. 2020 yılında fiyat 25,3 t/Euro iken 2021 yılında 55,03 t/Euro olup %45,97 oranında artmıştır. AB ETS 2022 yılı Ocak ayı karbon fiyatı 89,4 t/Euro ile en yüksek fiyat olarak kayıtlara geçmiştir [29].



Şekil 2. AB ETS fiyat değişimi [29]

Ulusal bazlı Zorunlu Karbon Piyasaları Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’de yer alan tahsis miktarı, 2020 yılına ait tahsis değerleridir [29]. 2020 yılına göre en yüksek tahsis miktarı AB ETS’ye aittir.

Tablo 2. Ulusal bazlı zorunlu karbon piyasaları [29]

Ülkeler	ETS Sistemi	Uygulandığı Yıl	Kullanıldığı Gazlar	Kapsadığı Sektörler	Tahsis Miktarı (MtCO <sub>2</sub> eşd.)
Yeni Zelanda	NZ ETS	2008	Sera gazları	Endüstri, enerji, atık, ormancılık	160
ABD	RGGI	2009	CO <sub>2</sub>	Enerji	109
Kanada	Quebec CaT	2013	Sera gazları	Ulaşım, Sanayi, Binalar, Tarım, Atık	55
Kaliforniya	California CaT	2012	Sera gazları	Endüstri, enerji, ulaşım, bina	321
İsviçre	İsviçre ETS	2008	Sera gazları	Sanayi, enerji,	6
Tokyo	Tokyo CaT	2010	CO <sub>2</sub>	Enerji, endüstri, bina	2
Kore	Kore ETS	2015	Sera gazları	Sanayi, enerji, binalar, havacılık, kamu, atık	609
Kazakistan	Kazakistan ETS	2013	CO <sub>2</sub>	Petrol, gaz, elektrik, endüstri, inşaat	169.2
Almanya	Almanya ETS	2021	Sera gazları	Bina, karayolu taşımacılığı	-
AB	AB ETS	2005	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, PFC	Sanayi, enerji, havacılık, kimya	1610
Çin	Çin Ulusal ETS	2021	CO <sub>2</sub>	Enerji, havacılık, kimya, inşaat	-



## B. GÖNÜLLÜ KARBON PİYASALARI

Gönüllü Karbon Piyasaları, Tezgahüstü Gönüllü Karbon Piyasaları ve Şikago İklim Borsası (CCX)'den oluşmaktadır. Gönüllü Karbon Piyasaları'ndaki ilk üç yıldaki hacim değerleri; 2019'da 104 MtCO<sub>2</sub> eşd., 2020 yılında 188 MtCO<sub>2</sub> eşd. ve 2021 yılının ilk sekiz ayında elde edilen hacim değeri 239 MtCO<sub>2</sub> eşd.'dir. 2021 yılının ilk sekiz ayında elde edilen hacim değeri, bir önceki yıla göre %27 oranında artış göstermiştir [30].

Tezgahüstü Gönüllü Karbon Piyasaları'nda uluslararası ve bölgesel bazlı piyasa standartları mevcut olup, bu standartlar Tablo 3'te özetlenmiştir. CCX 2003 yılında kurulmuş olup, sera gazı azaltım projeleri ve karbon sertifikaları için kullanılmaktadır. Kuzey Amerika ve Avrupa'da yaygın olarak kullanılırken, 2010 yılında sıfır hacme düştüğü için kapanmıştır [27].

*Tablo 3. Gönüllü karbon piyasası standartları [11]*

Uluslararası		
Standart Adı	Kuruluş Yılı	Kullanıldığı Alanlar
GS	2003	Tarım, enerji verimliliği, ormancılık, yakıt, kaçak emisyon, yenilenebilir enerji ve atık
VCS	2005	Tarım, enerji verimliliği, ormancılık, yakıt, kaçak emisyon, yenilenebilir enerji ve atık
Green-e	2007	Yenilenebilir enerji, karbon dengeleme
CCB Standart	2003	Orman
CCX	2003	Sera gazı azaltımı
Plan Vivo	1994	Tarım ve ormancılık
Climate Neutral Network	2008	Karbon dengeleme projeleri
WBCSD	1995	Sera gazı hesaplamaları
VER+		Karbon dengeleme projeleri
ISO 14064		Sera gazı emisyonlarının ölçümü, raporlaması, doğrulaması
Social Carbon	2009	Orman
Bölgesel		
Greenhouse Friendly – Avustralya		-
DEFRA – İngiltere	2001	-
CCAR – ABD		Raporlama

## III. TÜRKİYE'NİN GÖNÜLLÜ KARBON PİYASALARINA KATILIMI

Bu bölümde, Türkiye'nin Gönüllü Karbon Piyasaları'nda kayıtlı yenilenebilir enerji projeleri incelenmiştir. Türkiye'deki birçok projenin kayıtlı olduğu gönüllü karbon standartları olan GS ve Verra veri tabanlarından elde edilen veriler ile 2006 yılından bu yana santral sayılarının, kurulu güç miktarlarının ve emisyon azaltım miktarlarının değişimi analiz edilmiştir. 28790 sayılı Gönüllü Karbon Piyasası Proje Kayıt Tebliği ile sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve gönüllü karbon sertifikası elde etmeye yönelik Türkiye Cumhuriyeti sınırları içerisindeki projeler kayıt altına alınmaktadır. Tebliğ'e göre karbon projelerinin sahipleri olan gerçek veya tüzel kişiler, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği

Bakanlığı'na başvuru yaparak kaydolmakla yükümlüdürler. Ayrıca gönüllü karbon standardı kuruluşları da taraflarınca kaydedilen ve sertifikalandırılan projeleri ve bilgilerini Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na sunmakla yükümlüdürler [31]. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın çevrimiçi sistemi incelendiğinde söz konusu uygulamanın aktif olarak kullanılmadığı görülmektedir.

Türkiye Zorunlu Karbon Piyasaları'na henüz katılmasa da, 2005 yılından bu yana KP'de bahsedilen esneklik mekanizmalarından bağımsız olarak işleyen, Gönüllü Karbon Piyasaları'nda yer almaktadır [32]. Gönüllü Karbon Piyasaları'nda önemli bir role sahip olan Türkiye, Avrupa'daki en büyük gönüllü karbon kredisi satıcısıdır. 2007-2016 yılları arasında 200 milyon ABD dolarının üzerinde yaklaşık 37 MtCO<sub>2</sub> eşd. işlem gerçekleştirmiştir [8]. Türkiye, 2016 yılında 1,9 MtCO<sub>2</sub> eşd. işlemi ile küresel olarak gönüllü karbon dengelemelerinde Hindistan, Amerika Birleşik Devletleri, Kore, Çin ve Brezilya'dan sonra gelen altıncı en büyük tedarikçi konumuna gelmiştir [8]. Türkiye'de geliştirilen gönüllü karbon kredilerinin çoğu RES, HES ve biyokütle enerji santrali (BES) projelerinden geliştirilmiştir [8]. Türkiye'de karbon sertifikalarını tercih eden şirketler çoğunlukla küresel menşeli olup, uluslararası sürdürülebilirlik raporlamalarında kullanmak amacıyla sertifika satın almaktadırlar. İklim krizinin farkında olan ve çevreye karşı duyarlı olan yerel şirketler de herhangi bir zorunlulukları olmamasına rağmen karbon sertifikalarını tercih edebilmektedirler. AB, Yeşil Mutabakat çerçevesinde karbon nötr olmayı hedeflemekte ve karbon ayakizini en aza indirmek için alınan tedbirlerden biri olan sınırda karbon vergisini ticari faaliyetlere sahip olduğu ülkelere uygulamayı planlamaktadır. İhracatının büyük çoğunluğunu Avrupa ülkelerine yapan ülkemiz, emisyonlarını azaltmadığı takdirde ticari olarak kayıp yaşayabilecektir [33].

Türkiye toplam ihracatının %50'sini AB ile yaparak, AB'nin 5. büyük ticaret ortağıdır. Yeşil Mutabakat'a uyum sürecinde AB iklim hedeflerini sağlamak ve emisyon seviyelerini düşürmek adına Türkiye'ye ihraç ettiği ürünler için vergi uygulayacak, Türkiye'deki sürdürülebilir ve yeşil olmayan üretimler kredi kuruluşları ve kalkınma bankalarının finansman desteğini almada zorlanacak, yurt dışındaki yatırımcıların da yatırımlarının bir bölümünü sürdürülebilir harcamalara ayırması gerekeceğinden sürdürülebilir ve karbon yoğun olmayan şirketleri tercih etmeyeceklerdir [34]. Özellikle elektrik üreticileri, sınırda karbon vergisi uygulaması nedeniyle yüksek karbon maliyetiyle karşı karşıya kalacağından, olası sonuçlar ve etkiler konusunda fizibilite çalışmalarını yapması gerekmektedir [35].

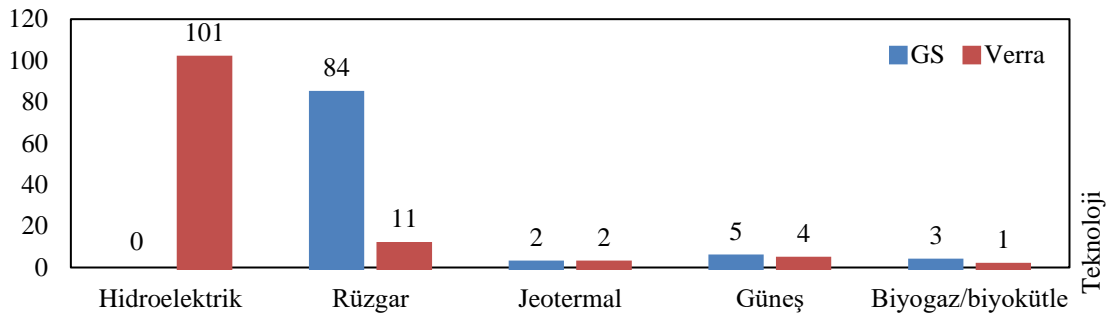
İlk olarak karbon yoğun endüstrilerin başında gelen çimento, demir çelik, alüminyum, gübre ve elektrik sektörlerini kapsayacak olan sınırda karbon vergisi uygulaması [36], birçok alanda karbonsuz ekonomiye geçişi sağlayacak, sürdürülebilir kalkınmaya da destek olacaktır. AB Yeşil Mutabakatı ile birlikte döngüsel ekonomi önem kazanacak, ülkemizin de AB Yeşil Mutabakat ve Döngüsel Ekonomi'ye uyum çerçevesinde mevzuatlarını güncellenmesi gerekecektir [37].

Türkiye 83 milyon nüfuslu, 1999-2019 yılları arasında yıllık ortalama %5-6 büyüme oranıyla büyüyen bir ülkedir [38]. Ülkenin gelişmesiyle birlikte ihtiyaç duyulan enerji miktarı da artacağından, Türkiye'nin enerji talebinin, önümüzdeki 10 yıl içinde iki katına katlanması beklenmektedir [8].

Bu çalışma kapsamında Türkiye'de gönüllü karbon projelerinin en fazla kayıtlı olduğu gönüllü karbon piyasası standartları olan GS ve Verra portallarında yer alan yenilenebilir enerji projelerine ait veriler incelenmiştir. Türkiye'de gönüllü karbon sertifikası projesi bulunan YEK'ten elektrik üreten santral sayısı Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3'teki verilere göre, Türkiye'de 2006-2020 yılları arasında YEK kullanarak elektrik üreten GS'ye kayıtlı 84'ü RES, 2'si jeotermal enerji santrali (JES), 5'i güneş enerjisi santrali (GES) ve 3'ü BES olmak üzere 94 adet proje, Verra'ya kayıtlı 101'i HES, 11'i RES, 2'si JES, 4'ü GES ve 1 tanesi BES olmak üzere 119 adet projeye birlikte toplam 213 aktif proje bulunmaktadır. GS'ye kayıtlı hiç HES projesi bulunmazken, Verra'ya kayıtlı santrallerin çoğunluğu HES'dir. RES projelerinin ise birçoğu GS'ye kayıtlıdır [39], [40].

Santral sayısı (adet)

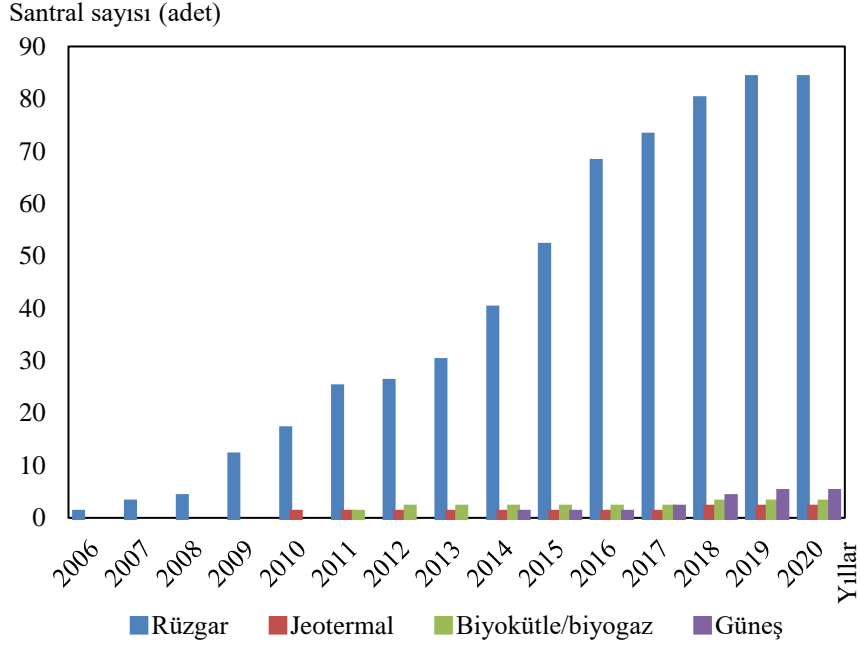


**Şekil 3.** Türkiye gönüllü karbon sertifikası projesi bulunan santral sayısı (YEK'ten elektrik üreten) [39], [40]

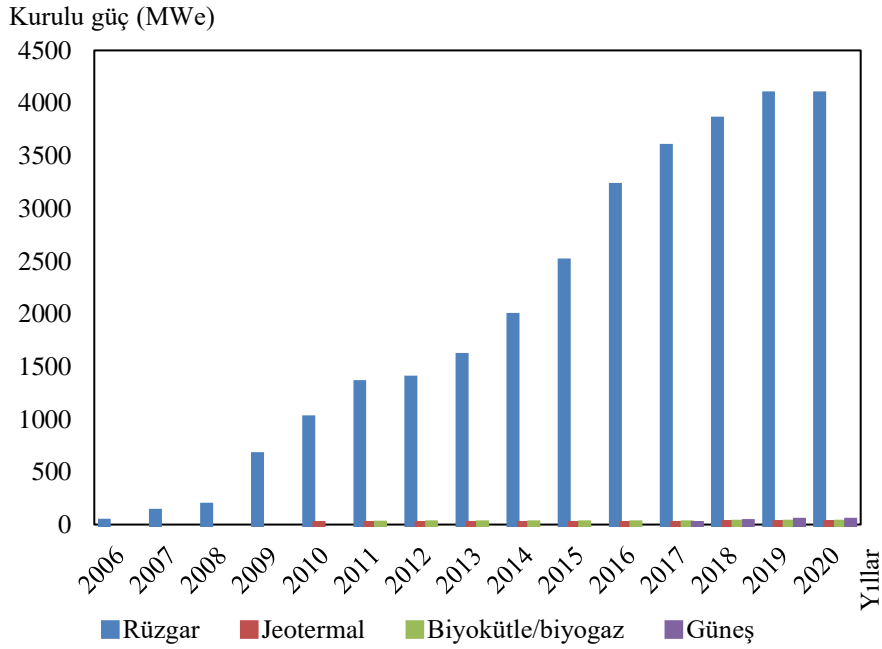
GS'ye 2006 yılından itibaren emisyon azaltım projeleri kaydı yaptıran santrallerin Tablo 4'teki ve Şekil 4'teki miktarları incelendiğinde, çoğunlukla RES'lerin kayıt yaptırdığı, 2006 yılında 1 santral kayıtlı iken günümüzde 84 santralin kayıtlı olduğu görülmektedir. JES'ler 2010, BES'ler 2011 ve GES'ler 2014 yılından itibaren kayıt yaptırmaya başlamıştır. Söz konusu santrallerinin sırasıyla günümüzdeki sayıları, 2, 3 ve 5 adettir. Santrallerin proje raporlarındaki emisyon azaltım hedefleri incelendiğinde 2006 yılında 1 santral ile 71.710 tCO<sub>2</sub> eşd. emisyon azaltımı planlanırken, 2020 yılında toplam 94 santral ile yaklaşık 100 kat artarak 7,71 MtCO<sub>2</sub> eşd emisyon azaltım miktarına ulaşmıştır [39]. Şekil 5'teki verilere göre santrallerin kurulu güçleri incelendiğinde, santral sayısındaki artışa paralel olarak kurulu güçlerde de artış yaşanmıştır. 2006 yılında 30 MWe olan kayıtlı kurulu güç değeri 2020 yılında 4.162,3 MWe değerine ulaşmıştır [39].

**Tablo 4.** GS yıllara göre santral sayıları ve emisyon azaltım miktarları (kümülatif) [39]

Yıllar	Toplam santral sayısı					Toplam Emisyon azaltım miktarı (tCO <sub>2</sub> eşd.)				
	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle /Biyogaz	Güneş	Top.	Güneş	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle /Biyogaz	Top.
2006	1	0	0	0	1	0	71710	0	0	71710
2007	3	0	0	0	3	0	244846	0	0	244846
2008	4	0	0	0	4	0	329881	0	0	329881
2009	12	0	0	0	12	0	1158827	0	0	1158827
2010	17	1	0	0	18	0	1688925	32000	0	1720925
2011	25	1	1	0	27	0	2321446	32000	24673	2378119
2012	26	1	2	0	29	0	2388223	32000	54826	2475049
2013	30	1	2	0	33	0	2888476	32000	54826	2975302
2014	40	1	2	1	44	500	3619211	32000	54826	3706537
2015	52	1	2	1	56	500	4495754	32000	54826	4583080
2016	68	1	2	1	72	500	5813767	32000	54826	5901093
2017	73	1	2	2	78	8191	6482100	32000	54826	6577117
2018	80	2	3	4	89	28156	6925934	75000	189981	7219071
2019	84	2	3	5	94	38907	7405294	75000	189981	7709182
2020	84	2	3	5	94	38907	7405294	75000	189981	7709182



Şekil 4. GS yıllara göre kayıtlı santral sayısı (kümülatif) [39]



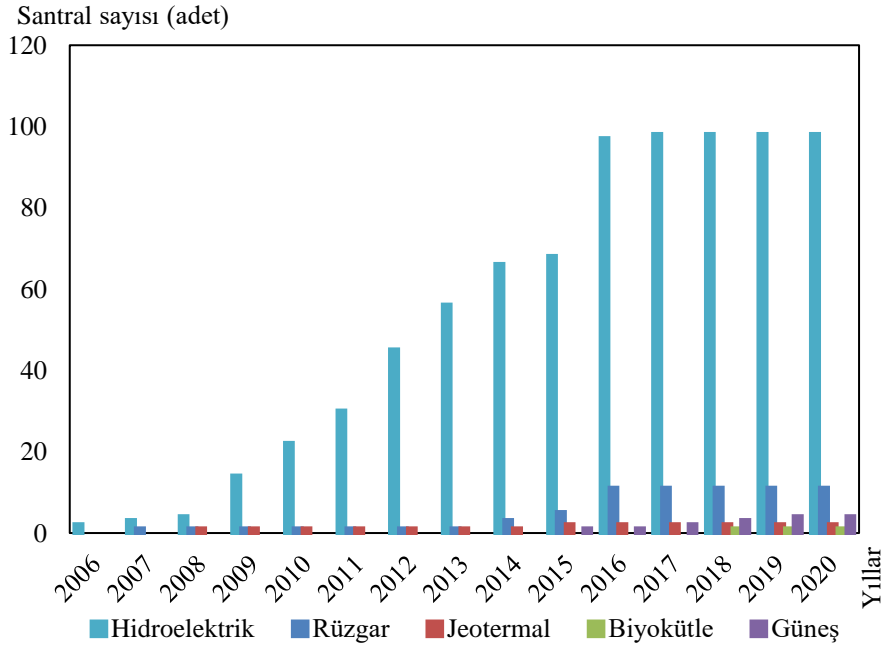
Şekil 5. GS yıllara göre santral sayıları ve emisyon azaltım miktarları (kümülatif) [39]

Verra'da kayıtlı YEK projelerinin Tablo 5 ve Şekil 6'daki verileri incelendiğinde, 2006 yılında 2 santral projesi kayıtlı iken, 2020 yılında kayıtlı santral sayısının 119'a ulaştığı görülmektedir. VERRA veri tabanına kayıtlı 3 santralin bilgilerini içeren dosyaları olmadığından kredi dönemleri bilinmemektedir. Grafiklerde bulunmayan bu santrallerin toplam emisyon azaltım miktarları ve santral güçleri toplam miktarlara eklenmiştir. HES projelerinin 2006 yılından bu yana, RES projelerinin 2007, JES projelerinin 2008, GES projelerinin 2015, BES projelerinin ise 2018 yılından itibaren sisteme kayıt ettirildikleri görülmektedir. Kayıtlı projelerin emisyon azaltım miktarları değerlendirildiğinde, 2006 yılında 70.413 tCO<sub>2</sub>eşd. olan hacmin 2020 yılında 9,73 MtCO<sub>2</sub>eşd.'ne ulaştığı görülmektedir. Santrallerin kurulu güç

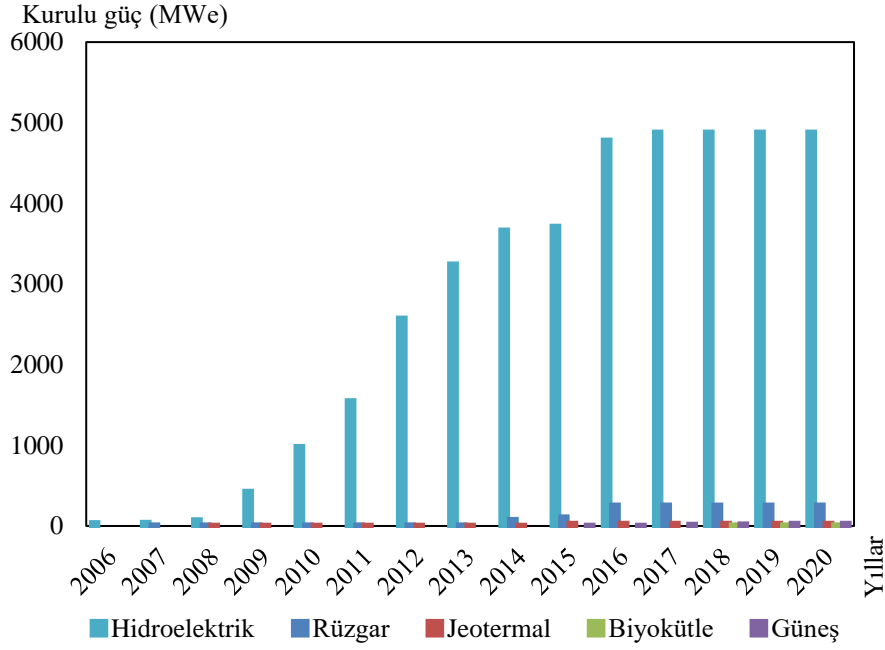
değerleri Şekil 7’de verilmiştir. Buna göre 2006 yılında 38,9 MWe olan kurulu güç değeri 2020 yılında 5213,5 MWe’ye ulaşmıştır [40].

**Tablo 5.** Verra yıllara göre santral sayıları ve emisyon azaltım miktarları (kümülatif) [40]

Yıllar	Toplam santral sayısı						Emisyon azaltım miktarı (tCO <sub>2</sub> eşd.)					
	Rüzgar	Hidro- elektrik	Jeoter- mal	Biyokütle/ Biyogaz	Güneş	Top.	Rüzgar	Hidro- elektrik	Jeotermal	Biyokütle /Biyogaz	Güneş	Top.
2006	0	2	0	0	0	2	0	70413	0	0	0	70413
2007	1	3	0	0	0	4	24381	90266	0	0	0	114647
2008	1	4	1	0	0	6	24381	150994	30309	0	0	205684
2009	1	14	1	0	0	16	24381	985702	30309	0	0	1040392
2010	1	22	1	0	0	24	24381	2034673	30309	0	0	2089363
2011	1	30	1	0	0	32	24381	3076268	30309	0	0	3130958
2012	1	45	1	0	0	47	24381	4690989	30309	0	0	4745679
2013	1	56	1	0	0	58	24381	5903271	30309	0	0	5957961
2014	3	66	1	0	0	70	121091	6616483	30309	0	0	6767883
2015	5	68	2	0	1	76	181982	6698025	125731	0	6818	7012556
2016	11	97	2	0	1	111	465298	8656710	125731	0	6818	9254557
2017	11	98	2	0	2	113	465298	8882541	125731	0	33238	9506808
2018	11	98	2	1	3	115	465298	8882541	125731	35612	37190	9546372
2019	11	98	2	1	4	116	465298	8882541	125731	35612	44901	9554083
2020	11	98	2	1	4	116	465298	8882541	125731	35612	44901	9554083

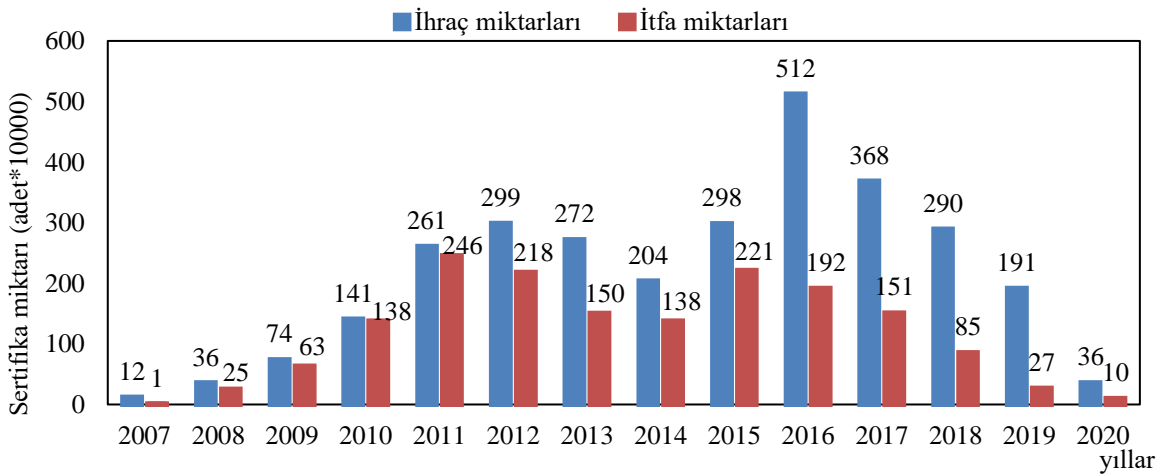


**Şekil 6.** Verra - yıllara göre santral sayısı (kümülatif) [40]



Şekil 7. Verra-kayıtlı santrallerin kurulu güçleri (kümülatif) [40]

GS veri tabanı [39] kullanılarak, yıllara göre sertifika ihraç ve itfa oranları elde edilmiş ve bu veriler Şekil 8’de verilmiştir. Aynı verilere Verra veri tabanında ulaşılamamıştır. Şekil 8’deki verilere göre, ihraç oranları 2016 yılına kadar artmış, 2016 yılından sonra düşmüştür. 2006-2020 yılları arasında GS’ye kayıtlı santrallerden ihraç edilen 29.940.000 adet karbon sertifikasının yalnızca 16.650.000 adedi itfa edilebilmiştir. Diğer yıllara ait yaklaşık değerlere bakıldığında 2010 yılında 1.410.000 adet ihraç edilen karbon sertifikasının 1.380.000 adedi, 2011 yılında ise 2.610.000 adet karbon sertifikasının 2.460.000’i olmak üzere toplam orana göre nispeten daha fazla sertifika itfa edilmiştir. Yıllar içerisinde, ihraç ve itfa miktarları arasındaki oran artmakla birlikte, son yıllarda ihraç edilen sertifikaların yarısından daha az bir kısmının itfa edildiği görülmektedir. 2019 yılındaki yaklaşık verilere göre 1.910.000 adet ihraç edilen sertifikanın 270.000 adedi, 2020 yılında ise 360.000 adet sertifikanın henüz yalnızca 10.000 tanesi itfa edilmiştir [39].



Şekil 8. GS ihraç ve itfa oranları [39]

## **IV. SONUC**

Bu çalışma kapsamında 2005 yılından itibaren Türkiye’de aktif olarak kullanılan Gönüllü Karbon Piyasaları’nın gelişimi ve kullanım düzeyi değerlendirilmiştir. Gönüllü karbon sertifikaları genellikle iklim değişikliği ile mücadele konusunda duyarlı olan veya global raporlama yapan kurumsal firmalar tarafından tercih edilmektedir. Proje kabul şartlarına bağlı olarak çoğunlukla RES’lerin tercih ettiği GS ve HES’lerin tercih ettiği Verra standartlarına şunda yeni proje kabulü alınmamaktadır. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın Gönüllü Karbon Projeleri Çevrimiçi Kayıt Sistemi de aktif olarak kullanılmamaktadır.

Rüzgar ve hidroelektriğe ek olarak jeotermal, güneş ve biyokütle enerji kaynaklarına dayalı santrallerin de zamanla Gönüllü Karbon Piyasaları’na katılması ile birlikte, portallardaki kayıtlı santral sayıları ve Gönüllü Karbon Piyasaları’na kayıtlı santral kurulu güç miktarları da artış göstermiştir. Türkiye’nin 2019 yılında kayıtlı YEK santral kurulu gücü 44.774,6 MW [41] iken, aynı yıl itibariyle GS ve Verra’ya kayıtlı santrallerin kurulu gücü toplamı 9.375,8 MW’dır [39], [40]. 2006 yılında 142.123 tCO<sub>2</sub> eşd. olan toplam emisyon azaltım miktarı 2020 yılı itibariyle 17,44 MtCO<sub>2</sub> eşd.’ne yükselmiştir. 2006-2020 yılları arasında GS’ye kayıtlı santrallerden ihraç edilen karbon sertifikaları incelendiğinde ihraç oranlarının da arttığı görülürken, itfa oranları 2016 yılına kadar artış göstermiş sonrasında azalmıştır. %4,9’luk hacimle bu piyasayı en fazla kullanan ülkelerden biri olan Türkiye’nin [22], mevcut YEK santral kurulu güçlerine bağlı mevcut emisyon azaltım kapasitesi değerlendirildiğinde Gönüllü Karbon Piyasaları’nın kapasitenin altında olduğu görülmektedir.

PA’nın onaylanması ile birlikte Türkiye’nin, sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik sunduğu hedefleri gerçekleştirebilmesi için YEK’den elektrik üretimini arttırarak hedeflenen YEK kurulu gücüne ulaşması gerekmektedir. Bu hedefin sağlanması için de sera gazı emisyonlarına sebep olan endüstrilerin YEK kaynaklı elektrik kullanımına yönelmeleri, sebep oldukları karbon emisyonlarını azaltmak mümkünse nötrlemek amacıyla karbon sertifikalarını kullanmaları gerekmektedir. Firmaların gönüllü karbon kredisi olarak çevreye önem veren firma profillerine sahip olmaları için gönüllü karbon kredisi kullanmaları teşvik edilmelidir. Ayrıca karbon emisyonuna sahip tüm sektörlerin, emisyonlarını nötrlemek adına gönüllü piyasalara yönlendirilmeleri, gönüllü piyasaların gelişimine katkı sağlayacak, firmaların da çevresel sürdürülebilirlik adına karbon sıfır hedeflerine ulaşmalarına olanak sağlayacaktır.

## **V. KAYNAKLAR**

[1] World Bank Group. (2020, May 27). *State and Trends of Carbon Pricing 2020* [Online]. Available: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33809>

[2] World Meteorological Organization. (2020, Mar 21). *WMO statement on the state of the global climate in 2016* [Online]. Available: <https://reliefweb.int/report/world/wmo-statement-state-global-climate-2016>

[3] M. Narin, "Flexible mechanisms of the Kyoto Protocol: Emissions Trading," *International Conference On Eurasian Economies*, St. Petersburg, Russia, 2013, pp. 941-952.

[4] International Energy Agency. (2021, Mar 2). *Global energy review: CO<sub>2</sub> emissions in 2020* [Online]. Available: <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>

[5] European Commission. (2021, Mar 4). *European climate law* [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-law\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en)

[6] Türkiye İstatistik Kurumu. (2021, 31 Mart). *1990-2019 Sera gazı emisyonları* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=cevre-ve-enerji-103&dil=1>

- [7] Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021, 30 Aralık). *Paris Anlaşması* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587>
- [8] Climate Focus. (2019, Nov 29). *Opportunities for Turkey under CORSIA final report 2019* [Online]. Available: <https://www.climatefocus.com/publications/opportunities-turkey-under-corsia>
- [9] M. Öztürk ve A. Öztürk, "BMİDÇS'den Paris Anlaşması'na: Birleşmiş Milletler'in iklim değişikliğiyle mücadele çabaları," *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 12, s. 4, ss. 527-541, 2019.
- [10] A. Öztürk, U. Demirci ve M. F. Türker, "İklim değişikliği ile mücadelede karbon piyasaları ve Türkiye için bir değerlendirme," *I. Ulusal Akdeniz Çevre ve Orman Sempozyumu*, Kahramanmaraş, Türkiye, 2011, ss. 306-312.
- [11] İ. Arı, "İklim değişikliği ile mücadelede emisyon ticareti ve Türkiye uygulaması," Uzmanlık tezi, Sosyal Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Türkiye Cumhuriyeti Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, Türkiye, 2010.
- [12] H. Çetintaş ve K. Türköz, "İklim değişikliği ile mücadelede karbon piyasalarının rolü," *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 20, s. 37, ss. 147-168, 2017.
- [13] N. Talu. (2020, 27 Mayıs). *İklim değişikliği eğitim modülleri serisi 3* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.iklimin.org/moduller/abpolitikalari.pdf>
- [14] S&P Global Platts. (2021, Nov 21). *COP26 article 6 adoption opens door to billions of dollars of investment in Voluntary Carbon Markets* [Online]. Available: <https://www.spglobal.com/platts/en/about-platts/media-center/press-releases/2021/press-rel111521-cop26-article-6>
- [15] CDP Turkey. (2021, Nov 22). *COP26'da neler oldu?* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://cdpturkey.sabanciuniv.edu/tr/content/cop26da-neler-oldu>
- [16] H. Çelikkol ve N. Özkan, "Karbon piyasaları ve Türkiye perspektifi," *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 31, ss. 203-222, 2015.
- [17] European Commission. (2021, Sep 10). *EU Emissions Trading System (EU ETS)* [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en)
- [18] B. Yılmaz, "Enerji sektörünün geleceği: Karbon ticareti," *Kara Harp Okulu Bilim Dergisi*, c. 29 s. 1, ss. 65-91, 2019.
- [19] T. Ulusoy, "Emisyon ticareti ve karbon emisyonlarının firma değerine olan etkisi," *Turkish Studies Social Sciences*, c. 14, s. 4, ss. 1827-1840, 2019.
- [20] F. Can, "Türkiye'de uygulanan ve gönüllü karbon piyasalarında faaliyette bulunan projelerin paydaş katılımı açısından değerlendirilmesi," *Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 1-17, 2018.
- [21] B. Cankır, D. Semiz and A. Aktas, "A comparative analysis of the standards used in voluntary carbon markets," *Journal of Economics, Finance and Accounting*, vol. 1, pp. 1-12, 2014.
- [22] S. Chen, D. Marbough, S. Moore, K. Stern, "Voluntary Carbon Offsets: an empirical market study," *Social Science Research Network*, Available at SSRN 3981914, 2021.
- [23] N. Birinci, "Karbon fiyatlandırmasından elde edilen gelirlerin kullanımı ve etkinliği," *Karadeniz*



[24] M. Johnson, J. Perks, C. Downey De Oliveira, A. Townend, I. Trim, C. Sachweh, J. Zhang, F. Taşdan, E. Mert, ve I. Sahin, "Türkiye’de piyasa temelli emisyon azaltım politika seçeneklerinin değerlendirilmesi," Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye, Rap. ED61984-2, 2017.

[25] Dünya Bankası PMR Sekreteryası. (2021, Sep 5). *Uygulamada emisyon ticareti, tasarım ve uygulama el kitapçığı* [Çevrimiçi]. Erişim: [https://pmrturkiye.csb.gov.tr/wp-content/uploads/2017/01/Uygulamada-Emisyon-Ticareti\\_TR.pdf](https://pmrturkiye.csb.gov.tr/wp-content/uploads/2017/01/Uygulamada-Emisyon-Ticareti_TR.pdf)

[26] A. Kossoy, G. Peszko, K. Oppermann, N. Prytz, N. Klein, K. Blok, L. Lam, L. Wong, B. Borkent, "State and trends of carbon pricing october 2015," World Bank and Ecofys, United States, Nov. 99533, 2015.

[27] G. Binboğa, "Uluslararası karbon ticareti ve Türkiye," *Journal of Yasar University*, c. 9, s. 34, ss. 5732-5759, 2014.

[28] European Environment Agency. (2021, Aug 05). *EU Emissions Trading System data viewer* [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>

[29] Investing. (2022, 2 Mart). *Karbon emisyonlari vadeli işlemleri* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://tr.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>

[30] Forest Trends. (2021, Sep 15). *State of the Voluntary Carbon Markets 2021* [Online]. Available: <https://www.forest-trends.org/publications/state-of-the-voluntary-carbon-markets-2021>

[31] Gönüllü Karbon Piyasası Proje Kayıt Tebliği, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 28790, 09 Ekim 2013.

[32] Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021, Aug 10). *Gönüllü karbon piyasaları* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://iklim.csb.gov.tr/gonullu-karbon-piyasalari-i-4391>

[33] World Wide Fund for Nature. (2021, Sep 10). *Türkiye, Avrupa Birliği yeşil mutabakatı ’nı düşük karbonlu ekonomiye geçiş için bir fırsat olarak görmelidir* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.wwf.org.tr/?10722/Turkiye-Avrupa-Birligi-Yesil-Mutabakatn-dusuk-karbonlu-ekonomiye-gecis-icin-bir-frsat-olarak-gormeli>

[34] Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2022, 17 Şubat). *Yani başımızdaki dev pazar Avrupa Birliği* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/avrupa-birligi/yani-basimizdaki-dev-pazar-avrupa-birligi>

[35] G. Şahin, M.A. Taksim ve B. Yitgin, "Effects of the european green deal on Turkey’s electricity market," *Journal of Business Economics and Management Research*, vol. 4, no. 1, pp. 40-58, 2021.

[36] European Parliamentary Research Service. (2022, Jan 24). *EU carbon border adjustment mechanism: Implications for climate and competitiveness* [Online]. Available: <https://epthinktank.eu/2022/01/24/eu-carbon-border-adjustment-mechanism-implications-for-climate-and-competitiveness-eu-legislation-in-progress/>

[37] D. Emil ve A. Bayülker, "Avrupa yeşil mutabakatı döngüsel ekonomi eylem planı türk iş dünyasına neler getirecek?," Türk Sanayicileri ve İş insanları Derneği, Türkiye, Rap. T/2021-06/621, 2021.

[38] Türkiye İstatistik Kurumu. (2021, 31 Mart). *TUIK websitesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tuik.gov.tr/>

[39] The Gold Standard. (2021, Mar 1). *Gold Standard proje kayıt portalı* [Online]. Available: <https://registry.goldstandard.org/>

[40] Verra. (2021, Mar 1). *Verra proje kayıt portalı* [Online]. Available: <https://registry.verra.org/>

[41] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi. (2021, 20 Şubat). *Türkiye elektrik üretim istatistikleri* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Nokta Direnç Kaynağı ile Birleştirilen DP1200 Çeliğinin Kaynak Metali Sertlik Değeri Üzerinde Kaynak Parametrelerinin Etkisinin İstatistiksel Analizi

 Medine Nur TÜRKOĞLU ELİTAŞ<sup>a,\*</sup>,  Muhammed ELİTAŞ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE*

<sup>b</sup> *Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE*

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: medine.elitas@bilecik.edu.tr

doi: 10.29130/dubited.1090298

### ÖZ

Bu çalışmada özellikle otomotiv endüstrisinde çift fazlı çelik sacların birleşiminde en sık kullanılan nokta direnç kaynak yöntemi tercih edilmiştir. Yapılan işlemler 5 ve 7 kA kaynak akımlarında, 2-6 bar elektrot basınç değerlerinde oluşturulmuştur. Farklı kaynak parametrelerinin kaynak metali sertlik değeri üzerindeki etkileri çoklu doğrusal regresyon analizi ile incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu analiz sonucunda elde edilen korelasyon tablosu ve ANOVA analiz değerleri yorumlanmıştır. Kaynak akımı ve elektrot basıncının önem dereceleri belirlenerek, kaynak metali sertlik değeri üzerindeki etkileri karşılaştırılmış ve belirlenen etki değerlerine göre çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre sertlik değerine etki eden en önemli değişkenin kaynak akımı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** *Çift fazlı çelik, Nokta direnç kaynağı, Regresyon analizi, Sertlik.*

## Statistical Analysis of the Effect of Welding Parameters on the Weld Metal Hardness Value of DP1200 Steel Combined with Resistance Spot Welding

### ABSTRACT

In this study, resistance spot welding, which is the most frequently used method in the joining of dual-phase steel sheets in the automotive industry, was preferred. The processes were created at 5 and 7 kA welding currents, 2-6 bar electrode pressure values. The effects of different welding parameters on weld metal hardness value were investigated by multiple linear regression analysis. The correlation table and ANOVA analysis values obtained with this analysis were interpreted. The importance of the weld current and electrode pressure was determined, their effects on the weld metal hardness value were compared and a multiple linear regression model was created according to the determined effect values. According to the statistical analysis results, the most important variable affecting the hardness value was the welding current.

**Keywords:** *Dual phase steel, Resistance spot welding, Regression analysis, Hardness.*

# I. GİRİŞ

Araç hafifletme çalışmaları, son yıllarda otomotiv endüstrisinde gelişme eğilimindedir. Araç ağırlığının hafif olması enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca, güvenlik gereksinimi de artmaktadır [1], [2]. Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik, yüksek mukavemet, yüksek enerji emme oranı ve iyi çarpışma önleme performansı gibi kapsamlı avantajları nedeniyle araç imalat uygulamalarında umut verici hafif malzemelerden biri haline gelmektedir. Araç gövdesine geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik uygulandığında, araç gövdesi ağırlığında yaklaşık olarak %15–20 oranında azalma elde edilmektedir [3], [4]. Ultra hafif çelik gövde (ULSAB) planında, geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliğin kapsamlı kullanımı ile maliyeti artırmadan gövde mukavemeti iyileştirilmektedir. Örneğin, statik eğilme sertliği %52, statik burulma sertliği ise %80 artmakta ve özellikle ağırlık %25 azalmaktadır [5]. Araç gövdesinde geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelik malzeme uygulaması ile nokta direnç kaynak bağlantısının kalitesi daha da ön plana çıkmaktadır [6].

Nokta direnç kaynağı (NDK), otomobil gövdesi montajının yaklaşık %90'ını içerdiğinden otomobil endüstrisi için büyük önem taşımaktadır. İyi kaynak kalitesi, yalnızca araç gövdesinin güvenliğini ve güvenilirliğini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda araç montajının doğruluğunu da etkiler [7], [8]. Düşük maliyeti, kolay otomasyonu, minimum beceri gereksinimleri ve parça tolerans varyasyonlarına karşı sağlamlığı nedeniyle araç gövde yapımında yaygın olarak kullanılan önemli bir kaynak işlemidir [9]. NDK, sac metal birleştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır [10].

NDK işlemi sırasında yüksek soğuma hızı ve kimyasal bileşimin etkisi ile kaynak metalinde martenzit fazı oluşmakta ve bu doğrultuda numunenin sertliğinde artış görülmektedir. Sonuç olarak, kaynak metalinin sertliğinin ana metale göre 2 kat daha fazla olduğu görülmektedir [11]. Sertlik, malzemenin diğer özellikleri hakkında da bilgi sağlaması yönünden çok önemlidir. Sertlikteki artış dayanımda artışa sebep olmaktadır. Ancak sertlik değeri artışı ile ters orantılı olarak kaynak metalinin çevresinde kırılma bölgesi meydana geleceğinden süneklik gittikçe düşmektedir. Öneminden dolayı sertlik bu çalışmada ayrıca ele alınmıştır.

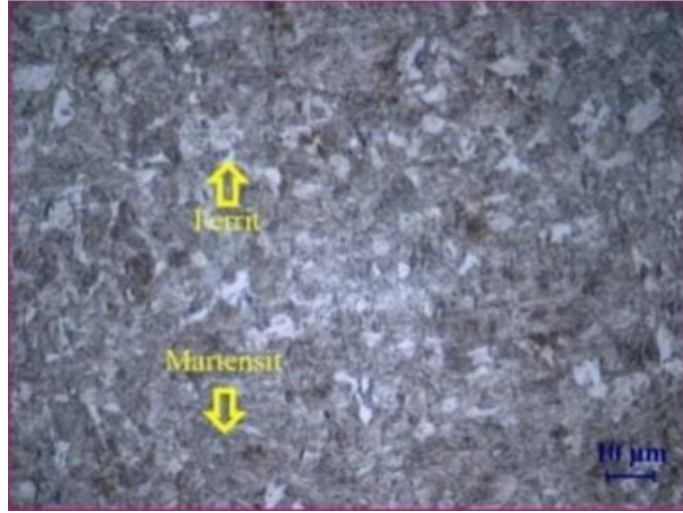
Bu çalışmada endüstride kullanımı yavaş yavaş artan DP1200 çeliği incelenmiştir. Farklı kaynak parametrelerinde NDK birleşimleri yapılmıştır. Literatürde kaynak parametrelerinin kaynak çekirdek çapı ve çekme makaslama dayanımı üzerinde etkileri ile ilgili istatistiksel analiz çalışmaları bulunmaktadır. Fakat kaynak metalinin sertliği üzerinde sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu sebeple çalışmada özellikle literatürde sınırlı sayıda çalışmanın bulunduğu NDK DP1200 çeliğinin sertlik değeri üzerinde kaynak parametrelerinin etkisinin istatistiksel analizi üzerine odaklanılmıştır. Yapılan istatistiksel analiz ile elde edilen tablolarda değerler analiz edilmiştir. Kaynak parametrelerinin önem düzeyleri belirlenmiş olup, kaynak metalinin sertlik değeri üzerindeki etki dereceleri incelenmiş ve saptanan değerlere göre çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur.

## II. MATERYAL VE METOT

DP1200 çeliğinin kimyasal bileşimi spektral analiz uygulanarak belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir. Ayrıca düşük düzeyde ferrit ve ağırlıklı olarak ise martenzit fazlarından meydana gelen mikroyapısı Şekil 1'de görülmektedir.

*Tablo 1. DP1200 çeliğinin kimyasal bileşimi [8]*

C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Co	Cu	Ti	V	Fe
0,078	0,190	1,67	0,026	0,040	0,044	0,021	0,013	0,036	0,010	97,856



*Şekil 1. DP1200 çeliğinin mikroyapısı [12]*

NDK işlemleri, 60 kVA güce sahip BAYKAL SPP60 marka kaynak cihazında gerçekleştirilmiştir. NDK işleminde 8 mm uç çaplı bakır elektrotlar kullanılmıştır. Kaynak akımı 5 ve 7 kA değerlerinde hesaplanmıştır. Elektrot basıncı 2 ile 6 bar aralığında 1 bar mesafe olacak şekilde yükseltilmiştir. 0,02 s: 1 çevrim olarak alınmıştır.

*Tablo 2. NDK kaynak değişkenleri*

Kaynak akımı (kA)	Elektrot basıncı (bar)	Kaynak zamanı (çevrim)
5	2	20
	3	
	4	
	5	
	6	
	2	
7	3	
	4	
	5	
	6	

Mikrosertlik deneyleri Qness Q10A+ marka Vickers mikrosertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı malzemelerin kaynak metali sertlik değerlerini belirlemek için 10 s'lik periyotlarda 4.906 N'luk bir kuvvet uygulanarak deneyler yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümü Şekil 2'de gösterilmiştir.



*Şekil 2. Mikrosertlik ölçümü şematik gösterimi*

Kaynak parametrelerinin kaynak metali sertlik değeri üzerine etkisi çoklu doğrusal regresyon istatistiksel analizi ile araştırılmıştır. ANOVA ve istatistiksel analiz programlarından IBM SPSS STATISTICS 22.0 çoğunlukla literatürde kullanılan uygulamalardır. Bu yüzden çalışmamızda kullanılmıştır [12]–[15]. Yapılan analizler ile elde edilen tablolardaki sayısal veriler karşılaştırılmıştır. Parametreler önem düzeylerine göre yorumlanarak bağımlı değişken (kaynak metali sertliği) ile olan

doğrusal ilişkiye bakılmıştır. Bu doğrultuda bir çoklu doğrusal regresyon modeli formülasyonu oluşturularak sayısal değerlerle ilişki düzeyleri saptanmıştır.

### **III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA**

#### **A. ÇOKLU DOĞRUSAL REGRESYON ANALİZ SONUÇLARI**

Çalışmada sertlik değerlerini etkileyen iki önemli değişken (elektrot basıncı ve kaynak akımı) saptanmıştır. Elektrot basıncı ile kaynak akımının sertliğe olan etkileri çoklu doğrusal regresyon analizi ile belirlenmiştir. Hipotezler kurularak geçerli olup olmadığına bakılmıştır. Sonuçlar Tablo 3-6'da gösterilmiştir.

Tablo 3'te bulunan R değeri 0,976'dır. Değerin yüksek olması kurulacak olan modelin geçerlilik seviyesinin fazla olması demektir. Yani çıktılar sağlıklı ve uyumludur. Anlamlılık düzeyi yüksektir.

*Tablo 3. Model özeti*

Model	R	R <sup>2</sup>	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	Tahminin Standart Hatası	Durbin Watson (DW)
1	0,976 <sup>a</sup>	0,953	0,942	45,576	0,200

*Tablo 4. ANOVA*

Model	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Ortalaması	F	Önem Düzeyi
<b>Regresyon</b>	377270,588	2	188635,294	90,813	0,000 <sup>b</sup>
<b>Artıklar</b>	18694,750	9	2077,194	-	-

*Tablo 5. Korelasyonlar*

	Sertlik	Akım	Basınç
<b>Pearson Korelasyon</b>	1,000	0,972	0,867
	<b>Akım</b>	0,972	1,000
	<b>Basınç</b>	0,867	0,842
			1,000

*Tablo 6. Bağımsız değişkenler ve katsayıları*

Model	B	Standart Hata	Standart Katsayılar (B)	t	Önem Derecesi	
1	Sabit Değer (Sertlik)	-57,951	21,334	-	-2,716	0,024
	Akım	86,620	13,965	0,832	6,203	0,000
	Basınç	46,808	37,747	0,166	1,240	0,246

Bağımsız olarak hesaplanan değişkenlerin, bağımlı değişkeni tahmin ettiği düşünülen formülasyonda aşağıdaki hipotezler kurulmuştur:

H<sub>0</sub>=Model anlamsızdır.

H<sub>s</sub>=Model anlamlıdır.

ANOVA tablosu analizi Tablo 4'te görülmektedir. F değeri 90,813 ve (p) önem düzeyi 0,000 olarak saptanmıştır. Elde edilen (p) değeri 0,05'ten daha düşük olduğu için formülasyonun açıklayıcı bir

düzeyle sahip olması istatistiksel olarak önemlidir ve bu yüzden  $H_0$  hipotezi reddedilir. Kurulan modelin anlamlı olduğu görülmektedir ( $p=0,000<0,05$ ).

Pearson korelasyon tablosuna bakıldığında (Tablo 5) sertlik ile akım arasında 0,972'lik doğrusal bir ilişki bulunurken; sertlik ile basınç arasında 0,867'lik bir ilişki bulunmuştur. Akım ile basınç değişkenleri arasında ise 0,842'lik doğrusal ilişki olduğu hesaplanmıştır. Buna göre sertlik ile akım arasındaki doğrusal ilişkinin basınç ile sertlik arasındaki ilişkiye göre %11 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6 incelendiğinde B değerine göre sertlik değerine etki eden en önemli parametre kaynak akımı olmuştur. Feujofack Kemda vd. [16] çalışmalarında ASTM A36 ve ASTM A653 çeliklerinin NDK işlemini araştırmışlardır ve kaynak akımının kaynak metali sertlik değerini etkileyen en önemli değişken olduğunu belirtmişlerdir. “t” değerleri ise, modeldeki değişkenlerin %5 anlamlılık düzeyinde olduğunu işaret etmektedir.

Sertlik bağımlı değişkendir. Bu değişken ile kaynak akımı arasında (86,620) oranında bir ilişki bulunurken, sertlik ile elektrot basıncı arasında (46,808) oranında daha düşük seviyede bir ilişki bulunmuştur. Standart hatalara bakıldığında kaynak akımı için 13,965 iken, elektrot basıncı için 37,747' lik daha yüksek bir değer olarak ortaya çıkmıştır. Akımın sertlik değerini etkileme oranının standart hatalar da eklendiğinde basınca göre daha üst düzeyde olduğu belirlenmiştir. Kaynak akımının daha güçlü bir bağımsız değişken olduğu görülmüştür. Önem düzeylerine bakıldığında sertlik 0,024 iken; kaynak akımı 0,000 ve elektrot basıncı 0,246 olarak bulunmuştur. Bu iki değerden birincisi (kaynak akımı), bağımlı değişkenin önem seviyesine daha yakın olduğu görülmüştür. Yani modelin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmayı literatürle paralel olarak destekleyen bir çıktıdır. Elde edilen analizler ve karşılaştırılan değerler sonucunda sertlik (S), elektrot basıncı (EB) ve kaynak akımı (KA), arasında kurulan model ise şu şekildedir (Eşitlik 1):

$$S = -57951 + (86,620 \times KA) + (46,808 \times EB) \quad (1)$$

## **IV. SONUÇ**

Çalışmada aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir:

1. DP1200 çeliğinin az miktarda ferrit ve yoğunluklu olarak martenzit fazlarından meydana geldiği belirlenmiştir.
2. Kaynak metali sertlik değerini etkileyen en önemli parametrenin kaynak akımı olduğu ortaya çıkmıştır.
3. Kaynak metali sertlik değerine etki eden elektrot basıncı ve kaynak akımı arasında formülasyon hesabı ile çoklu doğrusal regresyon modeli kurulmuştur.
4. Sertlik ile kaynak akımı arasındaki doğrusal ilişkinin basınç ile sertlik arasındaki ilişkiye göre %11 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
5. Gelecek çalışmalarda farklı kaynak parametrelerine (kaynak zamanı vb.) çeşitli istatistiksel analiz yöntemleri uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

## **V. KAYNAKLAR**

[1] A. N. Bhagat, A. Singh, N. Gope, and T. Venugopalan, “Development of cold-rolled high-strength formable steel for automotive applications,” *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 25, no. 1-3, pp. 202-205, 2010.

- [2] H. Yang, X. Lai, Y. Zhang, and G. Chen, "Investigations on the weldability of high-strength steels sheet to cylindrical tube single-sided spot welding," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 49, no. 5-8, pp. 513-518, 2010.
- [3] Y. L. Kang, "Lightweight vehicle, advanced high strength steel and energy-saving and emission reduction," *Iron Steel*, vol. 43, no. 6, pp. 1, 2008.
- [4] D. K. Matlock and J. G. Speer, "Processing opportunities for new advanced high-strength sheet steels," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 25, no. 1-3, pp. 7-13, 2010.
- [5] G. Meschut, M. Matzke, R. Hoerhold, and T. Olfermann, "Hybrid technologies for joining ultra-high-strength boron steels with aluminum alloys for lightweight car body structures," *Procedia Cirp*, vol. 23, pp. 19-23, 2014.
- [6] Y. Li, H. W. Liu, Y. DU, and P. Zhang, "Applications and developments of AHSS in automobile industry," *Mater. Rev. A*, vol. 25, no. 7, pp. 101-104, 2011.
- [7] X. Luo, J. Ren, D. Li, Y. Qin, and P. Xu, "Macro characteristics of dissimilar high strength steel resistance spot welding joint," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 87, no. 1-4, pp. 1105-1113, 2016.
- [8] M. Elitas, "Effects of welding parameters on tensile properties and fracture modes of resistance spot welded DP1200 steel," *Materials Testing*, vol. 63, no. 2, pp. 124-130, 2021.
- [9] R. Qiu, H. Shi, H. Yu, K. Zhang, Y. Tu, and S. Satonaka, "Effects of electrode force on the characteristic of magnesium alloy joint welded by resistance spot welding with cover plates," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 25, no. 11, pp. 1304-1308, 2010.
- [10] M. H. Bina, M. Jamali, M. Shamanian, and H. Sabet, "Investigation on the resistance spot-welded austenitic/ferritic stainless steel," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 75, no. 9-12, pp. 1371-1379, 2014.
- [11] C. Ma, D. L. Chen, S. D. Bhole, G. Boudreau, A. Lee, and E. Biro, "Microstructure and fracture characteristics of spot-welded DP600 steel," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 485, no. 1-2, pp. 334-346, 2008.
- [12] M. Elitaş, "Nokta direnç kaynağı ile birleştirilen DP1200 çeliğinin dayanımı üzerinde kaynak parametrelerinin etkisinin istatistiksel analizi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 242-251, 2021.
- [13] T. Ersöz, M. T. Elitaş, ve F. Ersöz, "Oecd ülkelerinde biyokütle enerji üretiminin çok boyutlu ölçkleme analizi ile incelenmesi," *TÜBAV Bilim Dergisi*, c. 8, s. 3, ss. 1-11, 2015.
- [14] İ. Çiftçi, ve H. Gökçe, "Molibden alaşımlarının işlenmesinde kesici takım ve kesme parametrelerinin taguchi metodu ile optimizasyonu," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 34, s. 1, ss. 201-214, 2019.
- [15] H. Gökçe, "Modelling and optimization for thrust force, temperature and burr height in drilling of custom 450," *Experimental Techniques*, vol. 46, pp. 707-721, 2021.
- [16] B. V. Feujofack Kemda, N. Barka, M. Jahazi, and D. Osmani, "Optimization of resistance spot welding process applied to A36 mild steel and hot dipped galvanized steel based on hardness and nugget geometry," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 106, no. 5, pp. 2477-2491, 2020.





# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Uygulamalı Eğitim Modeli İçin Firma Seçim Kriterlerinin Belirlenmesi ve Bir Sanayi Üniversitesinde Vaka Çalışması

 Sema ÇİFTÇİ<sup>a</sup>,  Mehmet PINARBAŞI<sup>b\*</sup>,  Hacı Mehmet ALAKAŞ<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ostim Teknik Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

<sup>b,c</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mehmetpinarbası71@hotmail.com

doi: 10.29130/dubited.1089777

### ÖZ

Günümüzde tecrübeli mezun kavramı, mezuniyet sonrası firmaların öğrencilerden beklentilerindeki ve işsizlik oranındaki artış nedeniyle son derece önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu durum eğitimde uygulamalı eğitim modelinin geliştirilmesini beraberinde getirmektedir. Uygulamalı eğitim kapsamında üniversitelerle firmalar arasında “Üniversite-Sanayi İş birliği” anlaşmaları yapılmaktadır. Ancak uygulamalı eğitim modelinin yeni bir kavram olması, literatürde firmaların adayları ve öğrencileri seçmeleri konularına ağırlık verilmesi, uygulamalı eğitim modelinden beklenen çıktının azalmasına sebep olmaktadır. Bu kapsamda çalışmada, sanayi üniversitesinde uygulamalı eğitim modelinde, öğrencilerin eğitim görecekları firmaların belirlenebilmesi için uzman görüşü alınarak, firma seçimi için kriter havuzu oluşturulmuştur. Kriter havuzundan nihai kriterlerin belirlenebilmesi için farklı sektörlerden uzmanlarla saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Saha çalışması sonucunda kriterler ana ve alt kriterler şeklinde sınıflandırılarak kapsamlı bir kriter havuzu oluşturulmuştur. Çok kriterli karar verme yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi kullanılarak uzman görüşlerinden elde edilen veriler ile kriterlerin önem ağırlıkları nicel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan nicel analizler sonucunda en yüksek önem ağırlığına sahip kriterler, firmaların gelişmiş bilişim alt yapısı, firmalarda daha önce uygulamalı eğitime alınmış veya stajyer olarak bulunmuş öğrencilerin ilgili firmada istihdam edilme oranı, firmaların Türkiye'nin önde gelen sanayi kuruluşları ile yürütmüş olduğu proje sayısı ve firmada çalışan beyaz yaka sayısının / toplam çalışan sayısına oranı şeklinde tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Firma seçimi, Uygulamalı eğitim, Çok kriterli karar verme, Üniversite-sanayi işbirliği, AHP yöntemi

## Determination of Company Selection Criteria for an Applied Education Model and a Case Study at an Industrial University

### ABSTRACT

Nowadays, the concept of experienced graduates has become an extremely important research topic due to the increase in the expectations of companies from students and the unemployment rate after graduation. This situation brings with it the development of an applied educational model in education. Within the scope of applied education, “University-Industry Cooperation” agreements are made between universities and companies. However, the fact that the applied education model is a new concept, the emphasis in the literature on the issues of companies choosing candidates and students, leads to a decrease in the expected output from the applied education model. In this context, in the study, in the applied education model at the industrial university, a criteria was created for the selection of companies by taking the expert opinion in order to determine the companies that students will be education in. Field work was carried out with experts from different sectors in

order to determine the final criteria from the criteria. As a result of the field work, criteria were classified into main and sub-criteria and a comprehensive criteria was created. Using the Analytical Hierarchy Process method, which is a multi-criteria decision-making method, the data obtained from expert opinions and the importance weights of the criteria were quantitatively evaluated. Quantitative analysis was performed with high importance weights of the criteria found in advanced ICT infrastructure companies or firms as an intern students received practical education in the relevant company before the employment rate of Turkey's leading industrial companies and companies number of projects working at the company that are conducted with the number of white-collar / total ratio of the number of employees in the form have been identified.

*Keywords: AHP method, Multi-criteria decision making, Company selection, Applied education, University-industry cooperation*

## I. GİRİŞ

Öğrenme süreklilik ve devamlılık gerektiren bir süreçtir ve deneyim kavramı öğrenilen bilginin süreklilik ve devamlılığının artırılmasına katkı sağlar. Öğrenme döngüsü, deneyim, yansıtma, kavramsallaştırma ve deneyden oluşur [1]. Karmaşık ve sürekli değişen çalışma ortamını karşılamak için eğitim kurumlarının yeterli ve nitelikli mezunlar yetiştirmesi gerekmektedir [2].

Dünya nüfusunun giderek artmasıyla birlikte, işsizlik oranı artış göstermiştir. Bu problemin azaltılması amacıyla, eğitimde işyerinde uygulamalı eğitimin geliştirilmesini veya artırılmasını zorunlu hale getirmiştir [3]. İşyerinde uygulamalı eğitim uygulaması teorik bilgi ile pratik bilgi arasında köprü görevi görmektedir [7]. Lisans eğitimleri süresince gerçekleştirilen staj vb. gibi işyerinde uygulamalı eğitimler, mezuniyet sonrasında mülakat başarı oranını %14 oranında artırmaktadır [5]. Bu nedenle işyerinde uygulamalı eğitim uygulamalarına son yıllarda farklı disiplinlerde gösterilen ilgi artmıştır [6].

Özellikle mühendislik fakültesi öğrencileri, lisans eğitimlerini tamamladıktan sonra “tecrübesizlik” sebebiyle iş bulmakta zorluk yaşamaktadır. Yaşanan bu tecrübesizliğin en aza indirilmesi için, lisans eğitiminde zorunlu “İşyerinde Eğitim” kavramı son yıllarda ön plana çıkmıştır [7]. Bu nedenle üniversiteler müfredatlarına işyerinde uygulamalı eğitim kavramını dahil etmeye başlamıştır [8]. İşyerinde uygulamalı eğitim kavramı literatürde, işyeri eğitimi [9], [10], [24], iş yeri uygulaması [12], iş yeri deneyimi [13], [14] olmak üzere üç ana başlık üzerinde ele alınmıştır.

Birçok üniversite, mezun istihdam oranını artırmak amacıyla programlarına staj, iş geliştirme uygulamalarını dahil ederek uygulamalı eğitim programlarını geliştirmektedir [15]. İşyerinde uygulamalı eğitim kapsamında ise öğrenciler, lisans eğitimleri süresince teoride gördükleri dersleri, firmalara giderek zorunlu staj uygulamasından farklı olarak uzun dönem uygulama imkânı bulmaktadır. Üniversite eğitimi sırasında tam ve kapsamlı bir eğitimin elde edilmesinde, işyerinde eğitimin önemi konusunda fikir birliği vardır [16]. Ancak işyerinde eğitimde yanlış öğrenci- firma eşleştirmeleri gibi yaşanan birtakım zorluklar mevcuttur. Bu zorluklar arasında üniversiteler için, öğrencilerin eğitim görecekları firmaların belirlenmesi problemi yer almaktadır. Bu doğrultuda öğrencilerin eğitim görecekları firmaların belirlenebilmesi için, firma seçim kriterleri kavramı ön plana çıkmaktadır. Ancak konuyla ilgili literatür değerlendirildiğinde, firmaların öğrenci seçim kriterlerine yönelik çalışma sayısı oldukça fazlayken [17], [18], [19] öğrencilerin ya da eğitim kurumlarının firma seçmelerine yönelik çalışma sayısı kısıtlı sayıdadır, [7], [8]. Stajyer veya eğitim kurumunun firma seçim uygulaması, uygulamalı eğitim programlarının daha etkili hale getirilmesi açısından etkili olacağı için, seçim kriterleri üzerinde araştırmaların yapılması faydalı olacaktır.

Firma veya öğrenci seçim kriterleri üzerine yapılmış literatür çalışmalarının araştırılması amacıyla, “Recruitment Selection Criteria”, “Employer Selection Criteria”, “Employee Selection Criteria”, “Student Selection Criteria”, “Personel Selection Criteria” ve “Intern Student Selection Criteria” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Derlenen literatür problemin analizi için kullanılan çözüm yöntemi ve seçim yapan kişi/kuruluş tarafı şeklinde iki ayrı faktör açısından değerlendirilmiş ve Tablo 1’ de

rapor edilmiştir. Çalışmalarda kullanılan çözüm yöntemleri, firma seçim kriterlerinin ilgili çalışmada değerlendirilmesi için kullanılan nicel veya nitel değerlendirme yöntemini ifade etmektedir.

Literatür çalışmalarının değerlendirildiğinde bir diğer faktör seçim yapan kişi/kuruluş faktörü, F (Firma/ iş veren/ uygulama yeri), A (aday/ üniversite/ öğrenci/ işçi) olmak üzere iki grupta ele alınmıştır. İşverenin öğrenciyi seçtiği çalışmalar Firma-Aday (F2A), öğrencinin firmayı seçtiği çalışmalar ise Aday-Firma (A2F) olarak adlandırılarak iki ayrı gruba dahil edilmiştir. Literatür çalışmalarının çoğunlukla F2A üzerine yoğunlaştığı görülürken, A2F perspektifinden yani adayların uygulamalı eğitim için uygun firmaları seçim problemi üzerine yapılmış çalışmaların oldukça az sayıda olduğu görülmektedir. Bu tür durumlar Tablo 1’ de verilen literatür özetinden kolaylıkla görülmektedir.

*Tablo 1. Literatür araştırması*

<b>Çalışmalar</b>	<b>Çözüm Yöntemleri</b>	<b>Seçim Yapan Kişi/ Kuruluş (F2A / A2F)</b>
[8]	İstatistiksel Analiz	A2F
[17]	İstatistiksel Analiz	F2A
[18]	İstatistiksel Analiz	F2A
[19]	İstatistiksel Analiz	F2A
[20]	Tanımlayıcı İstatistikler	F2A
[15]	Niteliksel Analiz	F2A
[21]	İstatistiksel Analiz	F2A
[7]	Niteliksel Analiz	A2F
[22]	İstatistiksel Analiz	F2A
[23]	ÇKKV	F2A
[24]	Karar Destek Sistemleri	F2A
[25]	İstatistiksel Analiz	F2A
Bu çalışma	ÇKKV	A2F

Literatür araştırması incelendiğinde, yapılan çalışmalarda çoğunlukla istatistiksel analiz yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Ancak Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerini kullanan çalışma sayısı [23] olarak sadece bir adet tespit edilebilmiştir. ÇKKV yöntemlerinin alternatifleri ve kriterleri baz alarak değerlendirme yapması sonucunda elde edilecek faydanın maksimize edilmesini sağladığı için A2F kriterlerinin kapsamlı bir şekilde belirlenip çözülmesi konusunda kullanışlı olacaktır.

Çalışmalar firma ve aday seçimi açısından değerlendirildiğinde; literatürde çoğunlukla firmaların aday seçtiği (F2A) çalışmaların [22], [23], [24], [25] ağırlık kazandığı görülmektedir. Ancak adayların veya üniversite gibi kurum/ kuruluşların firma seçtiği (A2F) çalışma sayısı oldukça sınırlıdır [8], [7]. Günümüzde oldukça popüler hale gelen işyerinde uygulamalı eğitim modeli düşünüldüğünde, yazarlar A2F seçim problemini önemli bir çalışma konusu olarak tespit etmiştir.

Literatür araştırmalarının değerlendirilmesi sonucunda, bu çalışmanın amaçları ve literatür katkıları aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- A2F açısından firma seçim kriterlerinin belirlenmesi,
- Farklı tecrübelerle sahip uzmanlar tarafından kriterlerin belirlenmesi,
- Belirlenen kriterlerin, AHP yöntemiyle kriter ağırlıklarının belirlenmesi,
- Bir sanayi üniversitesinde vaka çalışması yapılması.

Çalışmanın devamı şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm II’ de çalışma kapsamında kullanılan materyal ve yöntem, Bölüm III’ de çalışmanın uygulanması, Bölüm IV’ de sonuçlar, Bölüm V’ de tartışma verilerek çalışma sonlandırılmıştır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

ÇKKV yöntemleri, karar vericilerin bir dizi alternatif karar arasından seçim yapmasını sağlamak için sayısal teknikler kullanan yöntemlerdir [26]. Bir problemi ÇKKV kullanarak çözmek, karar vericiye en iyi karar alternatifleri açısından bir tavsiye sunar [27]. ÇKKV yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), karar vericilerin bilgileri bir dizi kritere göre sıralamalarına yardımcı olmak ve en iyi alternatifin seçilebilmesi için geliştirilmiştir [27]. AHP yönteminin hesaplama adımları Tablo 2’ de verilmiştir.

*Tablo 2. AHP yöntemi uygulama adımları*

<b>Adımlar</b>	<b>İşlemler</b>
<b>1. Adım</b>	Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması
<b>2. Adım</b>	Normalize edilmiş karar matrisinin hesaplanması
<b>3. Adım</b>	Öz vektör (W) değerinin hesaplanması
<b>4. Adım</b>	Sütun vektörü (D) değerinin elde edilmesi
<b>5. Adım</b>	Temel değer (E) değerinin elde edilmesi
<b>6. Adım</b>	$\lambda$ değerini hesaplanması
<b>7. Adım</b>	Tutarlılık indeksi ve tutarlılık oranının bulunması

## III. FİRMA SEÇİM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Bir sanayi üniversitesinde uygulamalı eğitim modeli için firma seçim kriterlerinin belirlenmesi çalışmasında, kriterlerinin belirlenebilmesi için, üniversitede mevcut uygulamalı eğitim modeli incelenmiştir. Mevcut uygulamalı eğitim modelinde, üniversitenin öğrencileri firmalara ataması için anlaşmalı olduğu birden fazla firma tespit edilmiştir. Üniversitede akademisyenler ve kariyer planlama uzmanları öğrencileri dönemsel olarak seçtikleri firmalara atamaktadır. Ancak firma seçim sürecinde herhangi bir değerlendirme süreci uygulanmamaktadır. Bu durum bazen uygun olmayan firmalara öğrencilerin atanmasına ve uygulamalı eğitim modelinden alınması planlanan verimin elde edilememesine neden olmaktadır. Daha verimli bir öğrenci-firma eşleşmesi sağlamak ve bu sorunları bertaraf etmek adına, bu çalışmada uygun firmaların seçimi için dikkat edilmesi gereken kriterlerin belirlenmesine ve bu kriterlerin bir ÇKKV yöntemi kullanılarak sistematik bir şekilde karar verme sürecine dahil edilmesi üzerine çalışılmıştır. Bu karar sürecindeki en önemli ve ilk adım firma seçim kriterlerinin belirlenmesidir. Bu çalışma seçim kriterlerinin belirlenmesi sürecini adım adım Tablo 3’ de verilen sürece göre takip etmektedir.

*Tablo 3. Firma seçim kriterlerinin belirlenmesi süreci*

<b>Adımlar</b>	<b>İşlemler</b>
1	Uygulamalı eğitim modelinde firma seçimi için kriter havuzunun oluşturulması
2	Uzman görüşü alınarak, kriter havuzundan amaca yönelik kriterlerin seçilmesi
3	Uzman görüşü alınarak, belirlenen kriterler alt ve ana kriter olarak sınıflandırılması
4	Kriterlerin ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması
5	Farklı alanlardan seçilen uzmanlara, 1-9 skalası kullanılarak kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi
6	AHP yöntemi kullanılarak kriter ağırlıklarının hesaplanması

Firma seçim kriterlerinin belirlenmesi aşamasında, oluşturulan kriter havuzundan saha çalışması yapılarak uzman görüşü alınarak, 4 ana ve 16 alt kriter şeklinde belirlenmiştir. Ana ve alt kriterlerden oluşan AHP yöntemi hiyerarşisi Tablo 4’ te verilmiştir.

**Tablo 3. Firma seçim kriterleri hiyerarşik gösterimi**

AMAÇ	ANA KRİTERLER	ALT KRİTERLER
KRİTERLERE UYGUN FİRMALARIN BELİRLENMESİ	SOSYAL (SOS)	Firmanın servis güzergahındaki toplam ilçe sayısı (FSG) Firma bünyesinde kullanılan yabancı dil sayısı (FYB) Firmanın öğrencilere verdiği yemek sayısı (FYS)
	TEKNİK (TEK)	Firmada mühendis/ çalışan ya da beyaz/ mavi yaka oranı (MBO) Firmanın sahip olduğu kalite standart belgeleri sayısı (KSB) Firmanın bilişim alt yapısı (FBA)
	ÖĞRENCİ (ÖGR)	Firmanın aldığı toplam engelli öğrenci sayısı (EÖS) Firmanın aldığı 1,2,3 ve 4. sınıflardan aldığı sınıf bilgisi (SSB) Daha önce firmada stajyer öğrencilerin istihdam edilme oranı (SİO) Firmanın üniversiteye vermiş olduğu toplam kontenjan sayısı (TKS) Firmanın Mühendislik Fakültesinden aldığı bölümlerin sayısı (MBS) Firmanın öğrenci alımında dikkat ettiği genel not ortalaması değeri (GNO)
	FİRMANIN ARAŞTIRMA ALT YAPISI (FAA)	Firma tarafından yürütülen/yürütülmüş proje sayısı (YPS) Firmanın Türkiye'nin öncü sanayi kuruluşları ile yaptığı iş birliği/çalışma sayısı (TÇS) Firmanın üretim/hizmet yılı (FÜY) Firmanın yürüttüğü uluslararası ortaklık / iş birliği sayısı (FUS)

Firma seçim kriterlerinde yer alan sosyal ana kriteri, firmaların öğrencilere sağlayacağı sosyal imkanların ölçülmesi amacıyla belirlenmiştir. Örneğin, alt kriterlerden firmanın servis güzergahındaki ilçe sayısı öğrencilerin firmaya ulaşması açısından fayda sağlayacaktır. Teknik ana kriteri, mühendislik fakültesi öğrencilerinin uygulama tecrübesi kazanabilmeleri açısından firmanın teknik alt yapısının ölçülmesi amacıyla belirlenmiştir. Öğrenci ana kriteri, bir firmanın öğrenci özelinde beklentilerinin tespitinin ölçülmesi amacıyla belirlenmiştir. Örneğin, alt kriterlerden firmanın aldığı bölüm bilgisi sayısı, üniversitede yer alan endüstri, makine, yazılım vb. mühendislik bölümlerinden, firmanın hangi bölümlerden öğrenci talep ettiğini ifade etmektedir. Firmanın araştırma alt yapısı kriteri ise, firmanın mühendislik fakültesi öğrencileri için, sağlayacağı araştırma alt yapısının analiz edilebilmesi amacıyla belirlenmiştir. Örneğin, alt kriterlerden firma tarafından yürütülen/ yürütülmüş proje sayısı kriteri; öğrencilerin proje yönetim ve uygulaması süreçleri alanında tecrübe kazanmalarına katkı sağlayacağı için kriter olarak belirlenmiştir.

## **IV. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Firma seçim kriterlerinin uzman görüşü alınarak belirlenmesinden sonra, AHP yöntemi uygulama adımlarına geçilmiştir. Öncelikle on farklı uzmandan (Tablo 5) kriterlerin ikili kıyaslanmasını içeren matrisi doldurmaları istenmiştir. Saha çalışmasına katılan uzmanlara ait bilgiler Tablo 5' te verilmiştir.

Uzmanlar belirlenirken Tablo 5' te görüldüğü üzere, altı uzman kurum içi (Kİ) yani vaka çalışmasının yapıldığı üniversite personeli olarak belirlenmiştir. Dört uzman ise kurum dışı (KD) yani vaka çalışmasının yapıldığı üniversite dışından belirlenmiştir. Bu dağılımda kurum içi personelin fazla tercih edilmesinin sebebi, A2F seçim probleminde aday tipinin üniversite olarak kabul edilmesi durumunda aktif ve işleyen bir süreç konusunda tecrübe sahibi uzmanlardan faydalanmaktır. A2F seçim problemi perspektifinden firma seçim kriterlerinin daha isabetli analiz edilmesi hedeflenmiştir.

*Tablo 5. Uzman bilgileri*

Uzman No (U)	Unvan	Görev Tanımı	Kurum İçi/ Dışı (Kİ/ KD)	Deneyim Yılı
U1	Kariyer Uzmanı	Kariyer Planlama Uzmanı	Kİ	15
U2	Araştırmacı	Derin Öğrenme Uzmanı	Kİ	3
U3	Mühendis	Proje Uzmanı	KD	8
U4	Araştırmacı	Web Tasarımı Uzmanı	Kİ	4
U5	Araştırmacı	ARGE uzmanı	Kİ	2
U6	Mühendis	İş Geliştirme Uzmanı	KD	4
U7	Kariyer Uzmanı	Kariyer Planlama Mühendislik Fakültesi Koordinatörü	Kİ	3
U8	Araştırmacı	Çok Kriterli Karar Verme Uzmanı	KD	13
U9	Araştırmacı	Kuyruk Ağları ve Simülasyon Uzmanı	KD	22
U10	Araştırmacı	Çok Kriterli Karar Verme Uzmanı	KD	6

Kriter ağırlıkları hesaplanırken, Tablo 2’ de verilen AHP yöntemi uygulama adımları sıra ile çalıştırılmıştır. Her bir ana ve alt kriter ikili kıyaslama matrisiyle analiz edilmiştir. Örneğin ana kriterler kendi arasında; 6 ((4\*3)/2) farklı ikili kıyaslamadan oluşmaktadır. Öğrenci ana kriteri altında yer alan alt kriterlerde kendi aralarında 15 ((6\*5)/2) ikili kıyaslamadan oluşmaktadır. Kriterlerin ikili kıyaslama değerleri Saaty tarafından geliştirilen 1-9 skalasına göre uzmanlar tarafından puanlandırılmıştır. Uzman değerlendirmelerine göre ana kriterlere yönelik AHP yöntemi hesaplama adımları Tablo 6’ da verilmiştir.

*Tablo 6. Ana kriterlerin uzman görüşlerine göre ikili kıyaslama matrisi*

Ana Kriter	SOS	TEK	ÖGR	FAA
SOS	1	0,27	0,33	0,35
TEK	3,7	1	1,06	1,13
ÖGR	3,02	0,94	1	0,69
FAA	2,87	0,89	1,44	1
Sütun Toplamı	10,59	3,1	3,83	3,17

Tablo 6’ da verilen ikili kıyaslama matrisi değerleri ilgili sütun toplamına bölünerek normalize edilmiş matris hesaplanmıştır. Örneğin; 1. sütunun toplamı 10,59 olup, sosyal kriterinin normalizasyon değeri  $1/10,59 = 0,09$  şeklinde hesaplanmıştır. Aynı işlemlerin diğer hücelere de uygulanması sonucu elde edilen normalizasyon değerleri aşağıdaki Tablo 7’ de verilmiştir.

*Tablo 7. Uzman görüşlerine göre ikili kıyaslama matrisinin normalizasyon değerleri*

Ana Kriter	SOS	TEK	ÖGR	FAA	Lokal Ağırlıklar
SOS	0,09	0,09	0,09	0,11	0,094
TEK	0,35	0,32	0,28	0,36	0,326
ÖGR	0,28	0,3	0,26	0,22	0,267
FAA	0,27	0,29	0,38	0,32	0,312

Normalizasyon değerlerinin hesaplanmasından sonra; Tablo 7’ de her bir satırın ortalaması alınarak hesaplanan lokal ağırlık değerleri ve öncelikler matrisi değerleri kullanılarak  $\lambda$  maks değeri hesaplanmıştır. Öncelikler matrisi her bir kriter için Tablo 6’ da yer alan satır değerleriyle Tablo 7’ de yer alan lokal ağırlıkların çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Örneğin; sosyal kriteri için  $0,38 = (1*0,094 + 0,27*0,326 + 0,33*0,267 + 0,35*0,312)$  şeklinde hesaplanmıştır. Aynı işlemlerin diğer

kriterler içinde hesaplanması sonucunda bulunan değerler local ağırlıklarla çarpılmıştır. Son aşamada bulunan değerlerin ortalaması alınarak  $\lambda_{maks}$  değeri hesaplanmıştır. Bütün ana kriterlere ait değerler Tablo 8’ de verilmiştir.

**Tablo 8.** AHP yöntemi  $\lambda_{maks}$  değerinin hesaplanması

Ana Kriter	Tüm Öncelikler Matrisi	Öncelik Matrisi * Lokal Ağırlık
SOS	0,38	4,02
TEK	1,31	4,02
ÖGR	1,08	4,03
FAA	1,26	4,03
$\lambda_{maks} : 4,025$		

$\lambda_{maks}$  değerinin hesaplanması sonucunda, Tutarlılık Göstergesi (CI) değeri hesaplanmıştır. CI değeri;  $CI = (\lambda_{maks}-n)/(n-1)$  formülü kullanılarak; 0,01 olarak hesaplanmıştır. Rassallık göstergesi ise alternatif sayısı 4 olduğu için ( $n=4$ ), 0,90 olarak alınmıştır. Tutarlılık göstergesi (CR) değeri; “CI/RI” formülü kullanılarak 0,01 olarak hesaplanmıştır. Bu durum “ $CR<0,1$ ” olduğu için, karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu ifade etmektedir.

Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8’ de uygulanan hesaplamaların diğer kriterlerin için de uygulanması sonucunda uzman görüşlerine ait AHP yöntemi kullanılarak hesaplanan kriter ağırlıkları sonuçları Tablo 9’ da verilmiştir.

**Tablo 9.** Uzman görüşlerine göre AHP yöntemi kriter ağırlıkları

Ana kriterler	Ağırlık	Alt kriter	Ağırlık	Önem düzeyleri (%)
SOS	0,09	FSG	0,33	3,1
		FYB	0,45	4,3
		FYS	0,22	2,1
TEK	0,33	MBO	0,28	9,1
		KSB	0,16	5,3
		FBA	0,56	18,2
ÖGR	0,27	EÖS	0,09	2,5
		SSB	0,18	4,7
		SİO	0,35	9,3
		TKS	0,14	3,7
		MBS	0,16	4,2
		GNO	0,09	2,4
		YPS	0,26	8,2
FAA	0,31	TÇS	0,34	10,7
		FUY	0,14	4,4
		FÜS	0,25	7,9

Tablo 9’da yer alan önem düzeyleri ana kriterin ağırlık değeri ile alt kriterin ağırlık değerinin çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Örneğin; sosyal ana kriterinin ağırlığı 0,09 olup, firmanın servis güzergahındaki ilçe sayısı kriterinin ağırlığı 0,33 olduğu için  $0,03 = (0,09 * 0,33)$  değeri elde edilmiştir. Bu hesaplama sonucu kriterin ağırlığı %3,1 olarak hesaplanmıştır. Aynı işlemlerin diğer kriterler için de hesaplanmıştır ve Tablo 9’ da rapor edilmiştir.

Tablo 9’ da verilen değerler incelendiğinde; AHP yöntemi kullanılarak hesaplanan kriter ağırlıkları incelendiğinde firmanın bilişim alt yapısı, firmanın Türkiye’nin öncü sanayi kuruluşları ile yaptığı iş birliği/çalışma sayısı, firmada Mühendis/çalışan ya da beyaz/mavi yaka oranı ve daha önce firmada stajyer öğrencilerin istihdam edilme oranı kriterleri, uzman görüşlerine göre en önemli kriterler olarak belirlenmiştir.

## V. SONUÇ

“İşyerinde Eğitim” uygulamasında firma seçim kriterlerinin belirlenmesi ve niceliksel analiz edilmesi çalışması, uygulamalı eğitim modelinden alınacak verimin artırılması açısından etkili olmuştur. Konuyla ilgili literatür araştırması yapılarak, çalışmalar çözüm yöntemleri ve A2F- F2A prensibine göre analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, çalışmaların çözüm yöntemi olarak istatistiksel analize yoğunlaştığı, ancak ÇKKV yöntemlerini kullanan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. Ayrıca literatürde çalışmalar F2A prensibine göre seçim sürecine oldukça yoğunlaşırken, A2F prensibine göre seçim süreci sıklıkla ihmal edilmiştir. Bu durum yanlış öğrenci/aday – firma eşleştirmelerinin yapılmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada A2F prensibine göre yeni bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşımla, alanında uzman kişilerle A2F prensibine yönelik bakış açısıyla firma seçim kriterleri belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması için, ÇKKV yöntemlerin AHP yöntemi kullanılmıştır. AHP yöntemine göre kriter ağırlıklarından en yüksek FBA olarak çıkmıştır. Genel algının dışında, ilginç bir şekilde FBA kriterinin en yüksek ağırlığa sahip olması, dünyanın bilişim sektörüne olan ilgisinin artışı göstermektedir. Ağırlıkları yüksek çıkan diğer kriterler sırasıyla; TÇS, SİO ve MBO şeklindedir. TÇS kriteri, firmanın öncü bir sanayi kuruluşuyla iş birliği yapmasının “aday/öğrenci/işçi” için teknik açıdan gelişmede uzman bakış açısında göre katkı sağlayacağı anlamına gelmektedir. Çünkü günümüz teknoloji dünyasında firmalara entegre bir sistem içerisinde çalışarak ürün ve hizmetleri sağlamaktadır. SİO kriteri uygulamalı eğitimden alınan çıktının artırılması çok önemli bir kriter olarak uzmanlar tarafından belirlenmiştir. Bu kriter sayesinde uygulamalı eğitimde yer alan adaylar, programın bitiminde istihdam şansı sağlayacaktır. Küresel bir problem olan, işsizlik oranının azaltılması açısından etkili olacaktır. MBO kriteri, firmalarda bulunan beyaz yaka oranının fazla olmasının, adaylara mühendislik bakış açısının sağlanmasına katkı sağlayacaktır.

Yapılan çalışmalarıyla, literatürde A2F prensibine göre seçim sürecinin sıklıkla ihmal edilmesi durumu için yeni bir niceliksel çözüm yaklaşımı önerilerek, önerilen yaklaşımın etkili olacağı düşünülmektedir.

Bir sanayi üniversitesinde uygulamalı eğitim için firma seçim kriterlerinin ÇKKV yöntemleri ile analiz edilmesi çalışması, konuyla ilgili gelecek çalışmalar için öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Firma seçim kriterlerinin belirlenmesi mühendislik fakültesi dışında farklı fakülte öğrencileri içinde çalışılması gereken önemli bir konudur.
- Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde, ÇKKV yöntemlerinden farklı metodlarının kullanılması, çalışma çıktılarının iyileştirilmesi açısından pratik sonuçlar sağlayabilir.
- Firma seçim kriterlerinin belirlenmesinde DELPHI gibi farklı yöntemler kullanılarak, seçim kriterlerinin etkinliği artırılabilir.
- Kriter ağırlıklarının analizi için uzman görüşü alınarak oluşturulan karar matrisine, öğrenci görüşü de eklenerek, sonuçların verimliliği artırılabilir.

## VI. KAYNAKÇA

[1] S. Meredith and M. Burkle, “Building bridges between university and industry: Theory and practice,” *Education and Training*, vol. 50, no. 3, pp. 199–215, 2008.

[2] Z. King, “New or traditional careers? A study of UK graduates’ preferences,” *Human Resource Management Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 5–26, Jan. 2003.

[3] N. M. Breakey, R. N. S. Robinson, and L. G. Beesley, “Students Go a ‘Waltzing Matilda’—A regional tourism knowledge exchange through innovative internships,” *Journal of Teaching in Travel & Tourism*, vol. 8, no. 2–3, pp. 223–240, 2009.



- [4] J. P. Dickerson, "The realistic preview may not yield career satisfaction," *International Journal of Hospitality Management*, vol. 28, no. 2, pp. 297–299, Jun. 2009.
- [5] J. M. Nunley, A. Pugh, N. Romero, and R. A. Seals, "College major, internship experience, and employment opportunities: Estimates from a résumé audit," *Labour Economics*, vol. 38, pp. 37–46, Jan. 2016.
- [6] M. v. Hejmadi, K. Bullock, V. Gould, and G. D. Lock, "Is choosing to go on placement a gamble? Perspectives from bioscience undergraduates," *Assessment & Evaluation in Higher Education*, vol. 37, no. 5, pp. 605–618, Aug. 2011.
- [7] J. M. Luo and C. F. Lam, "Qualitative analysis of satisfying and dissatisfying factors in a university–industry cooperation programme," *Education Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 56, Mar. 2019.
- [8] L. H. N. Fong, H. A. Lee, C. Luk, and R. Law, "How do hotel and tourism students select internship employers? A segmentation approach," *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education*, vol. 15, no. 1, pp. 68–79, Jul. 2014.
- [9] T. Dornan, "Workplace learning," *Perspectives on Medical Education*, vol. 1, no.1, pp. 15–23, 2012.
- [10] S. Kitto, J. Goldman, M. H. Schmitt, and C. A. Olson, "Examining the intersections between continuing education, interprofessional education and workplace learning," *J Interprof Care*, vol. 28, no. 3, pp. 183–185, 2014.
- [11] A. Nederveld and Z. L. Berge, "Flipped learning in the workplace," *Journal of Workplace Learning*, vol. 27, no. 2, pp. 162–172, Mar. 2015.
- [12] B. Murray-Davis, M. Marshall, and F. Gordon, "From school to work: Promoting the application of pre-qualification interprofessional education in the clinical workplace," *Nurse Education in Practice*, vol. 12, no. 5, pp. 289–296, Sep. 2012.
- [13] P. Tynjälä, "Perspectives into learning at the workplace," *Educational Research Review*, vol. 3, no. 2, pp. 130–154, Jan. 2008.
- [14] A. Roberts, "Reflective practice international and multidisciplinary perspectives encouraging reflective practice in periods of professional workplace experience: the development of a conceptual model," *Reflective Practice*, vol. 10, no. 5, pp. 633–644, 2009.
- [15] M. Clarke, "Rethinking graduate employability: the role of capital, individual attributes and context," *Studies in Higher Education*, vol. 43, no. 11, pp. 1923–1937, Nov. 2017.
- [16] G. Feijoo et al., "Potential impact on the recruitment of chemical engineering graduates due to the industrial internship," *Education for Chemical Engineers*, vol. 26, pp. 107–113, Jan. 2019.
- [17] W. Schulz, I. Maas, and M. H. D. van Leeuwen, "Employer's choice – Selection through job advertisements in the nineteenth and twentieth centuries," *Research in Social Stratification and Mobility*, vol. 36, pp. 49–68, Jun. 2014.
- [18] J. O. Ekwoaba, U. U. Ikeije, and N. Ufoma, "The impact of recruitment and selection criteria on organizational performance," *Global Journal of Human Resource Management*, vol. 3, no. 2, pp. 22–33, 2015.
- [19] T. Moore and J. Morton, "The myth of job readiness? Written communication, employability,

and the 'skills gap' in higher education," *Studies in Higher Education*, vol. 42, no. 3, pp. 591–609, Mar. 2015.

[20] U. J. Wiersma and R. Kappe, "Selecting for extroversion but rewarding for conscientiousness," *European Journal of Work and Organizational Psychology*, vol. 26, no. 2, pp. 314–323, Mar. 2016.

[21] H. L. Clark, R. E. Cole, and L. L. K. Funderburk, "US military dietetic internship and graduate program: retrospective analysis of selection criteria and student success," *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, vol. 118, no. 6, pp. 1057–1064, Jun. 2018.

[22] R. M. Sladek, C. Burdeniuk, A. Jones, K. Forsyth, and M. J. Bond, "Medical student selection criteria and junior doctor workplace performance," *BMC Medical Education*, vol. 19, no. 1, pp. 1–8, Oct. 2019.

[23] Z. Dugger, G. Halverson, B. McCrory, and D. Claudio, "Principal component analysis in MCDM: An exercise in pilot selection," *Expert Systems with Applications*, vol. 188, pp. 115984, Feb. 2022.

[24] F. A. F. Ferreira, D. Kannan, I. Meidutė-Kavaliauskienė, and I. M. T. Vale, "A sociotechnical approach to vaccine manufacturer selection as part of a global immunization strategy against epidemics and pandemics," *Annals of Operations Research 2021*, pp. 1–30, Jan. 2022.

[25] A. Bakalo, "The role of employee recruitment and selection on the organizational performance (Acase Mizan Aman Town)," *Academy of Marketing Studies Journal*, vol. 26, no. 1, pp. 1–7, 2022.

[26] E. Triantaphyllou, "Multi-criteria decision making methods," *Applied Optimization*, 1rd ed., vol. 44, Boston, MA: Springer, 2000, pp. 5–21.



[27] M. Beynon, "DS/AHP method: A mathematical analysis, including an understanding of uncertainty," *European Journal of Operational Research*, vol. 140, no. 1, pp. 148–164, Jul. 2002.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Bölütleme Kullanarak Doğal Görüntülerde Metin Tanıma

 Yeliz ŞENKAYA <sup>a,\*</sup>,  Çetin KURNAZ <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Bilgisayar Kullanımı Bölümü, Akkuş Meslek Yüksekokulu, Ordu Üniversitesi, Ordu, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: yelizsenkaya@odu.edu.tr

doi: 10.29130/dubited.1107625

### ÖZ

OCR olarak da bilinen optik karakter tanıma, taranan görüntülerdeki bir kelimeyi ya da bir cümleyi tanımak için kullanılan bir yöntemdir. Uzun yıllara dayanan araştırmalarla geliştirilmiştir. Taranan görüntüler üzerindeki metni tespit etmede büyük başarı sağlamıştır. Ancak doğal görüntüler üzerinde istenilen sonucu vermemektedir. Bu nedenle, doğal görüntülerdeki metinleri tespit edebilmek için özel yaklaşımların geliştirilmesi gerekliliği doğmuştur. Bu çalışmada, doğal görüntüler üzerinde metin olan bölgeleri algılamak için Otsu ve maksimum kararlı ekstrem bölgeler (MSER) görüntü bölütleme yöntemleri kullanılmıştır. Görüntü bölütleme, bir görüntüyü daha iyi analiz edebilmek için görüntüyü anlamlı bölgelere ayırma işlemidir. Otsu modelinde görüntü için en uygun eşik değeri belirlenerek, görüntü bu eşik değerine göre ön plan ve arka plan olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. MSER yöntemi ise metin olmayan bölgeleri engelleyerek, metin olduğu düşünülen bölgeleri sınırlayıcı kutu içerisine almaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada, Otsu metodu ve MSER yöntemi ile ICDAR 2013 veri setinden seçilen 20 doğal görüntü üzerinde metin olan bölgelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Doğal görüntü üzerinde bölütleme işlemleri yapıldıktan sonra görüntülere OCR uygulanarak doğal görüntüler üzerindeki metnin tespit edilmesi sağlanmış ve doğruluk oranları karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Otsu modeli, Maksimum Kararlı Ekstrem Bölgeler, Optik Karakter Tanıma

## Text Recognition in Natural Images Using Segmentation

### ABSTRACT

Optical character recognition, also known as OCR, is a method for recognizing a word or a phrase in scanned images. It has been developed through years of research. It has had great success in detecting text on scanned images. However, it does not give the desired result in natural images. Therefore, it is necessary to develop special approaches to detect texts in natural images. This study used Otsu and The Maximum Stable Extremal Regions (MSER) image segmentation methods to detect regions with text on natural images. Image segmentation is dividing an image into meaningful regions to analyze it better. In the Otsu model, the most appropriate threshold value is determined for the image, and the image is divided into two classes, foreground, and background, according to this threshold value. On the other hand, the MSER method blocks non-text regions and encloses regions thought to be text in bounding boxes. The study carried out aimed to determine the text areas on 20 natural images selected from the ICDAR 2013 data set with the Otsu method and the MSER method. After segmentation on the natural image, OCR was applied to the images to detect the text on the natural images, and the accuracy rates were compared.

**Keywords:** Otsu's method, Maximally Stable Extremal Regions, Optical Character Recognition

# I. GİRİŞ

Günümüzde dijitalleşen dünya ile birlikte görüntü üretme ve paylaşma hızı her geçen gün artmaktadır. Üretilen bu görüntüler taranan bir belge olabileceği gibi, doğal bir görüntüde olabilmektedir. Bu görüntülerden doğru ve anlamlı metin çıkarma ihtiyacı araştırmacılar için büyük önem kazanmıştır. Optik karakter tanıma (optical character recognition, OCR), görüntülerdeki bir karakteri, bir kelimeyi ve hatta bir cümlenin tamamını tanımak için kullanılan bir yöntemdir. OCR, taranan belgelerdeki metni tanıırken yüksek başarımlı orana sahipken, doğal görüntü metinlerini tanıırken yetersiz kalmaktadır. Taranan belge görüntüsündeki metinler ile doğal görüntülerdeki metinler birbirinden çok farklı özelliklere sahiptir. Taranan belge görüntüsündeki metin, beyaz bir arka plan ve tüm belge boyunca uzanan yazı tipi stili gibi bir dizi özellikten oluşurken, doğal görüntüdeki metinde ise kenarları etkileyen farklı açılar, farklı yazı tipi stilleri, arka plan ve ön plan renkleri gibi farklı birçok özellik bulunmaktadır [1]. Doğal görüntülerdeki metinler, bu özelliklerden dolayı taranan belge görüntüsündeki metinlere göre OCR tarafından daha zor tespit edilmektedir. Bu sebeplerden dolayı doğal görüntü metinlerinin tespit edilmesi için özel yaklaşım geliştirilmesi ihtiyacı doğmaktadır.

Literatürde doğal görüntülerdeki metinleri daha iyi tanımak için farklı yöntemler kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmaların büyük bir kısmında veri setlerinin içerdiği metinlerde İngilizce kullanılmıştır. Buradan yola çıkarak geliştirilen bir çalışmada, Türkçe manzara veri metni kümesi (scene text recognition in Turkish, STRIT) oluşturulmuştur. Oluşturulan veri kümesi üzerinde iki taban çizgisi yöntemi ile Türkçe metin tanınması gerçekleştirilmiştir [2]. Araştırmacıların, görüntülerde sıklıkla kullandığı yöntemlerden biri Otsu modelidir. Görüntüde metin tespiti için yapılan çalışmada, Otsu modeli renkli görüntünün R, G, B kanallarına ayrı ayrı uygulanmıştır [3]. Benzer bir çalışmada, doğal görüntülerdeki metinlerin tespiti için OCR uygulanmadan önce k-means ve Otsu algoritmaları kullanılmış ve iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır [4]. Farklı bir çalışmada, Otsu yöntemini temel alan iyileştirilmiş bir eşik görüntü bölütleme algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın Otsu modeline ve diğer yöntemlere göre yüksek bölütleme hassasiyetine ve hızlı hesaplama hızına sahip olduğu gösterilmiştir [5]. Doğal görüntülerdeki metinler perspektif bozulması, gölgeler ve eğri karakter yerleşimi gibi nedenlerden dolayı düzensiz şekillere sahiptir. Bu durum görüntüdeki metin tespitini zorlaştırmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek için yapılan bir çalışmada, düzensiz metinlere karşı dayanıklı bir tanıma modeli olan özel olarak tasarlanmış bir derin sinir ağı RARE (Otomatik Düzeltme özelliğine sahip sağlam metin tanıyıcı) önerilmiştir [6]. Görüntü üzerindeki gölge sorunun çözümü için yapılan çalışmada gölge tespit yöntemlerinden Bayes Sınıflandırma Yöntemi, Otsu modeli ve Histogram dağılımı yöntemi incelenerek görüntü seti üzerinde test edilmiştir ve başarımlı oranları sunulmuştur [7]. Doğal görüntü metni tanıma ile yapılan başka çalışmada maksimum kararlı ekstrem bölgeler (maximally stable extremal regions, MSER) kullanan bir metin algılama algoritması önerilmiştir. MSER'in görüntü bulanıklığına ilişkin hassasiyetinin üstesinden gelmek ve çok küçük harfleri bile algılamasını sağlamak için, Canny kenar tanıma filtresinin özelliklerinden yararlanan zenginleştirilmiş bir MSER geliştirilmiştir [8]. Benzer bir çalışmada, MATLAB uygulaması üzerinde MSER görüntü bölütleme kullanılarak doğal görüntü üzerinde metin tanımlaması yapılmıştır [9]. Farklı bir çalışmada, OCR'nin doğal görüntülerde tek bir karakteri tanımakta güçlük çektiği gösterilmiştir. Sorun, sınıflandırma yöntemleri gibi makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır. Sınıflandırma yöntemleri, doğal görüntülerdeki özellikleri çıkarmak için kullanılmıştır [10]. Gerçekleştirilen farklı bir çalışmada, OCR motoru ve genel nesne tanıma dayanan iki farklı sistemin doğal görüntü metinleri tanımadaki başarısı karşılaştırılmıştır. Genel nesne tanıma dayalı sistemin, OCR sisteminden daha iyi sonuçlar ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir [11]. OCR ile ilgili bir derleme çalışmasında ise, metin tanımanın çeşitli aşamaları, metin türüne göre el yazısı OCR sistemlerinin sınıflandırılması, Çince ve Arapça metin tanıma çalışmaları ve OCR'de uygulamaya yönelik son araştırmalara değinilmiştir [12]. Yapılan başka bir çalışmada, parça tabanlı ağaç yapılı karakter tespiti kullanan yeni bir doğal görüntü metin tanıma yöntemi önerilmiştir. ICDAR 2003, ICDAR 2011, SVT (singular value thresholding) veri setlerine ilişkin deneysel sonuçlarda, önerilen yöntemin hem karakter tespitinde hem de kelime tanımadaki mevcut yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği açıklanmıştır [13]. Diğer bir çalışmada, görme engellilere yardımcı olmak amacıyla doğal görüntü metinlerini tespit eden sistem geliştirilmiştir.

Sistem ICDAR 2003 Robust Reading Competition veri seti üzerinde test edilmiştir [14]. Farklı bir çalışmada, güç dağıtıcılarının yükünü azaltmak hafifletmek amacı ile elektrik faturalandırması için OCR tabanlı otomatik sayaç okuma (automatic meter reading, AMR) geliştirilmiştir [15].

Doğal görüntülerde ki metinler hayatın her alanında karşımıza çıkmaktadır. Kullandığımız ilahtan, okuduğumuz kitaba, gezdiğimiz sokağa kadar paylaştığımız her şey doğal görüntü formatındadır. Doğal görüntülerde ki metinler farklı birçok özellikten dolayı karakter tanınmasında hala istenilen sonucu vermemektedir. Bu durum günümüzün güncel çalışma konularından biri olmasını sağlamaktadır. Yapılan farklı çalışmalarda yöntemler birbiri ile birlikte kullanılmış ya da karşılaştırılmıştır. Ancak hiçbir çalışmada Otsu Metodu ve MSER Yöntemi karşılaştırılmamıştır.

Bu çalışmada, ICDAR 2013 veri setinden seçilen 20 doğal görüntü üzerindeki metni tanımlamak için, Otsu metodu ya da MSER yöntemi kullanılarak görüntü bölütleme yapılması, sonrasında OCR kullanılarak metnin doğru tespit edilmeye çalışılması ve her iki yöntemin başarı oranlarının karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

## **II. GÖRÜNTÜ BÖLÜTLEME VE OPTİK KARAKTER TANIMA**

### **A. GÖRÜNTÜ BÖLÜTLEME**

Görüntü bölütleme, bir görüntüyü daha iyi analiz edebilmek için görüntü içerisindeki bazı karakteristik özelliklere göre görüntüyü anlamlı bölgelere bölme işlemidir [16], [17]. Görüntü bölütleme, görüntü işlemenin ilk ve en önemli basamağıdır [18]. Görüntü üzerinde daha yüksek seviyeli görüntü işleme yöntemleri kullanılmadan önce görüntü bölütleme uygulanır. Farklı sebeplerden dolayı görüntüde gürültü ve bozulmalar meydana gelebilir. Gürültü ve bozulmaların giderilmesi, görüntünün daha iyi analiz edilebilmesi ve görüntüyü bölgelere bölme amacıyla görüntü bölütleme yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemler görüntüdeki pikseller arasındaki gri seviye değerlerinin süreksizlik (discontinuity) ve benzerlik (similarity) özelliklerine dayanır [16]. Literatürde görüntü bölütleme yöntemleri farklı şekillerde sınıflandırılmıştır [18]-[21]. Yaygın olarak kullanılan bölütleme yöntemleri: eşikleme tabanlı bölütleme, kenar tabanlı bölütleme, bölge tabanlı bölütleme ve çizgi tabanlı bölütlemedir [18]. Bölütleme yöntemleri genellikle hedef takibi, nesne sınıflama ve görüntü tanıma gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### **A. 1. Otsu Modeli**

Otsu modeli, Japon bilim adamı Nobuyuki Otsu tarafından 1979 yılında geliştirilmiştir [22]. Eşikleme tabanlı bölütleme yöntemi sınıfında yer alan Otsu modelinde amaç görüntü içerisinde yer alan nesnelere görüntü arka planından ayırmaktır. Eşikleme görüntü piksel değerlerinin siyah-beyaz renge dönüştürülerek görüntünün en sade haline ulaşmasını sağlamaktadır. Eşik olarak kullanılacak değerin doğru tespit edilmesi gerekmektedir. Eğer eşik değeri yüksek veya küçük olursa görüntüde kayıplar meydana gelecektir [23]. Otsu modeli görüntü için optimum eşik değerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Otsu modelinde eşik belirleme işlemi için öncelikle renklerin görüntü üzerinde var olma sayısı (histogramı) hesaplanır. Her bir eşik değeri görüntüyü ön plan ve arka plan olmak üzere iki sınıfa ayırır. Arka plan (background) için Eş. 1, ön plan (foreground) için Eş. 2 ile gösterilen ağırlık (weight) değerleri hesaplanır.

$$w_b(t) = \sum_{i=0}^t p(i) / \sum_{i=0}^L p(i) \quad (1)$$

$$w_f(t) = \sum_{i=t+1}^L p(i) / \sum_{i=0}^L p(i) \quad (2)$$

Her iki sınıf için Eş. 3 ve Eş. 4 ile gösterilen ortalama (mean) hesapları yapıldıktan sonra ve Eş. 5 ve Eş. 6 kullanılarak varyans değerleri hesaplanır.

$$\mu_b(t) = \sum_{i=0}^t ip(i) / \sum_{i=0}^t p(i) \quad (3)$$

$$\mu_f(t) = \sum_{i=t+1}^L ip(i) / \sum_{i=t+1}^L p(i) \quad (4)$$

$$\sigma_b^2(t) = \sum_{i=0}^t (i - \mu_b)^2 p(i) / \sum_{i=0}^t p(i) \quad (5)$$

$$\sigma_f^2(t) = \sum_{i=t+1}^L (i - \mu_f)^2 p(i) / \sum_{i=t+1}^L p(i) \quad (6)$$

Bu değerlerden çıkan sonuçlardan Eş. 7 ile sınıf içi varyans değeri hesaplanır. Bütün eşik değerleri için hesaplanan sınıf içi varyanslar arasında en düşük sınıf içi varyans eşik değeri olarak kabul edilir. Belirlenen eşik değeri görüntüdeki her piksel ile karşılaştırılır. Eğer piksel eşik değerinden büyükse ön plan değilse arka plan olarak belirlenir [7], [18], [23].

$$\sigma_w^2(t) = w_b(t) \sigma_b^2(t) + w_f(t) \sigma_f^2(t) \quad (7)$$

## A. 2. Maksimum Kararlı Ekstrem Bölgeler

Maksimum kararlı ekstrem bölgeler (MSER) bölgeleri algılamak için kullanılan bir yöntemdir. Matas ve arkadaşları tarafından geliştirilen MSER, görüntülerde kullanılan Blob Analizi yöntemlerinden biridir [24]. Temelleri Lindeberg tarafından atılan Blob Analizi (Blob Coloring) algoritması, görüntü içerisindeki farklı nesnelere tespit edilmesini veya tanınmasını sağlamaktadır [25]. Şekil 1'de MSER yönteminin blok diyagramı verilmiştir. MSER algoritması, karakter olmayan bölgeleri engelleyerek, karakter olduğu düşünülen bölgeleri sınırlayıcı kutu içerisine almaktadır.



Şekil 1. MSER Blok diyagramı

## B. OPTİK KARAKTER TANIMA

Optik Karakter Tanıma (OCR), taranmış veya el yazısı ile yazılmış bir belgeyi metne dönüştürme işlemine dayanan bir görüntü tanıma tekniğidir [26]. Belgeye ya da görüntüye OCR tekniği uygulanmak isteniyor ise ilk yapılması gereken belgenin tarayıcı ya da kamera yardımı ile dijital hale dönüştürülmesidir. Belge dijital ortama aktarıldıktan sonraki aşamada, görüntü üzerinde konum bölütleme yapılarak nesne ve karakterlerin birbirinden ayrılması sağlanır. Görüntü bölütlemenin daha iyi sonuç vermesi için dijital ortama aktarılan belgenin kalitesinin iyi olmasına dikkat edilmesi gerekir. Dikkat edilmediği takdirde görüntü bölütlere ayrılırken zorluklar yaşanabilir. Sonraki aşamada görüntüye binarizasyon işlemi uygulanır. Binarizasyon, görüntünün gri tonlamalı görüntüye ardından

ikili görüntüye dönüştürülmesidir [27], [28]. Binarizasyon işlemi karakterlerin tanınmasını kolaylaştırmak için görüntü kalitesini arttıran bir işlemdir. Binarizasyon yöntemi aynı zamanda bölütleme yöntemlerinden biridir. İşlenmiş görüntüyü girdi olarak alan ve bu görüntüden her bir karakteri çıkaran karakter çıkarma işlemi uygulanır. Son aşamada ise çıkarılan her karakter tanıma işlemine tabi tutulur. Her bir karakter üzerinde sınıflandırma işlemi uygulanarak tanıma işlemi gerçekleştirilir [1]. Sınıflandırma, hangi sınıfa ait olduğu bilinmeyen bir örüntünün öznelikleri kullanılarak karar mekanizması yardımı ile o örüntünün hangi sınıfa ait olduğunun belirlenmesidir. Sınıflandırma işlemi için birçok makine öğrenimi yaklaşımı vardır. Makine öğrenimi, insan müdahalesi veya bir talimat olmadan verilerden ve deneyimlerden otomatik olarak öğrenebilen bilgisayar modelleri ve algoritmalar olarak tanımlanabilir [29]. Makine öğrenimi yaklaşımlarından Olasılıksal Sinir Ağı (probabilistic neural network, PNN), destek vektör makineleri (support vector machines, SVM) ve K-en yakın komşu (K- nearest neighbor, K-NN) yaklaşımları öne çıkmaktadır [30]. Bektaş ve arkadaşları karakter tanıma ile ilgili yaptıkları çalışmada üç farklı makine öğrenimi yaklaşımı olan Naive Bayes, K-NN ve Lineer Çekirdek Fonksiyonunu (linear kernel SVM, LibSVM) test ederek karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışma ile Naive Bayes %65, LibSVM %81 ve K-NN %89 doğruluk oranlarını elde etmişlerdir [31]. OCR taranan belgelerde istenen doğruluk oranı performansına yaklaşırken, doğal görüntü metinlerinde ise istenen performansı henüz gösterememiştir. Bu sebeple, doğal görüntülerdeki metni daha doğru tespit etmek için farklı çalışmalar yapılmaktadır.

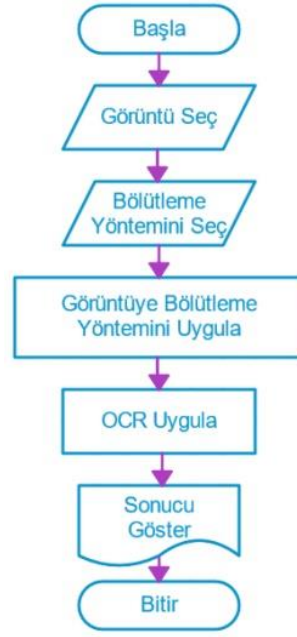
### **III. MATERYAL VE METOT**

Gerçekleştirilen çalışmada Şekil2’de gösterildiği gibi ICDAR 2013 veri setinden 20 görüntü kullanılmıştır. Görüntüler seçilirken her iki yöntemde sonuçlar üretmesi dikkate alınmıştır. Dijital ortamda olan bu görüntüler Şekil3’te verilen akış diyagramı ile MATLAB geliştirme ortamında gerçekleştirilen kod bloğu ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Akış diyagramında da gösterildiği gibi kullanıcı görüntüyü ve uygulamak istediği bölütleme yöntemini seçtikten sonra metin bulma işlemi MATLAB içerisinde yer alan hazır OCR fonksiyonu ile gerçekleştirilmiştir.



*Şekil 2. 20 adet doğal görüntü*

Kullanıcılara kullanım kolaylığı sağlaması için grafik ara yüzü geliştirilmiştir. Kullanıcı Şekil 4’de gösterildiği gibi ara yüz ile istediği görüntüyü ve bölütleme yöntemini seçerek metin tanıma işlemi gerçekleştirebilmektedir. Görüntüde var olan ve Otsu modeli ile MSER yönteminin bölütlediği görüntülerin OCR ile tespit ettiği metinler ara yüzde gösterilmiştir.

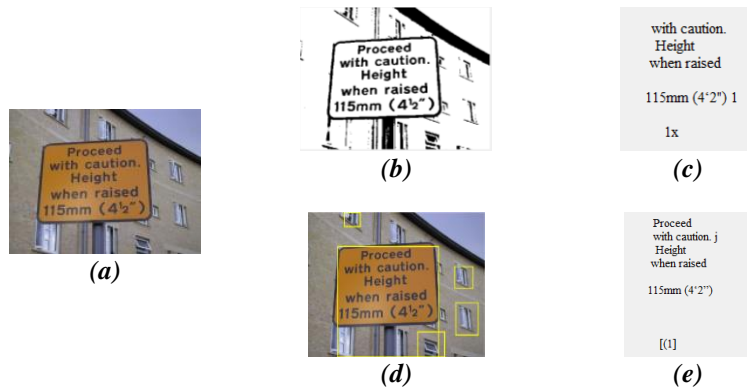


Şekil 3. Akış Diyagramı



Şekil 4. Grafik ara yüzü

Şekil 5 (a)'da gösterilen doğal görüntüye her iki bölütleme yöntemi de ayrı ayrı uygulanmıştır. Şekil 5 (b) 'de Otsu modelinin uygulanmış hali, Şekil 5 (c)'de ise Otsu uygulandıktan sonra OCR uygulanması ile elde edilen çıktı gösterilmiştir.



Şekil 5. (a) Orijinal img4, (b) Otsu uygulanmış hali, (c) Otsu uygulanmış OCR çıktısı, (d) MSER uygulanmış hali, (e) MSER uygulanmış OCR çıktısı



MSER yönteminde Otsu modelinde olduğu gibi öncelikle görüntü gri tonlamalı seviye dönüştürülmüştür. Sonraki aşamada görüntüye MSER tekniği uygulanmıştır. MSER tekniğinin kullanımı sadece metin bölgelerini değil, aynı zamanda metin olmayan bölgeleri de algılayacaktır. Bu sorunun üstesinden gelmek için MSER iki yöntem ile birlikte uygulanmıştır. Kullanılan ilk yöntem geometrik filtrelemedir. Geometrik filtrenin Aspect ratio, eccentricity, solidity, extent ve Euler number özellikleri kullanılarak metin olmayan bölgeler azaltılmaya çalışılmıştır. Metin olmayan bölgeleri azaltmak için kullanılan diğer bir yöntem ise Kontur genişliğine dayalı filtrelemedir. Kontur genişliğine dayalı filtreleme, görüntüdeki filtrelenmemiş metin olmayan bölgeleri azaltmıştır. Filtreleme işlemlerinden sonra kalan bölgeler, bölgeleri çevreleyen sınırlayıcı kutularla çerçevelenmiştir. Sınırlayıcı kutular birbiriyle örtüşecek şekilde büyütülmüştür. Birbirine yakın sınırlayıcı kutuların örtüşme oranı hesaplanarak, yan yana iki veya daha fazla sınırlayıcı kutu birleştirilmiştir. MSER yöntemi kullanıldıktan sonra, karakterleri tanımak için bölütlere ayrılmış görüntüye bir metin tanıma tekniği olan OCR uygulanmıştır. OCR tekniği algılanan ve sınırlayıcı kutularla çerçevelenen görüntü bölgeleri içerisinde tanınan karakterlerden oluşan bir metin üretmiştir. Şekil 5 (d) ve (e)'de MSER yönteminin uygulanmış hali ve sonrasında OCR ile tespit edilen çıktı gösterilmiştir.

## **IV. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME**

ICDAR 2013 veri setinden 20 adet doğal görüntü üzerinde Otsu metodu ve MSER yöntemi kullanılarak metin tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Her yöntem için her görüntünün ayrı ayrı doğru karakter sayısı yüzdelik olarak hesaplanmıştır. OCR metin tanıma işlemi yaparken alt satıra inme durumunda da karakter üretmektedir. Doğru karakter sayısı yüzdelik olarak hesaplanırken alt satıra inme karakterleri hesaplamaya dahil edilmemiştir. Aynı zamanda doğruluk oranları hesaplanırken kelimelerin sıralı olarak bulunması dikkate alınmamıştır. Tablo 1'de her görüntüdeki Otsu ve MSER yöntemleri uygulandıktan sonra OCR ile bulunan toplam karakter sayıları, doğru karakter sayıları ve doğruluk oranları verilmiştir.

*Tablo 1. Görüntülerdeki Otsu ve MSER toplam karakter sayıları, doğru karakter sayıları ve doğruluk oranları*

Görüntü	Otsu Toplam Karakter Sayısı	Otsu Doğru Karakter Sayısı	Otsu Doğruluk Oranı (%)	MSER Toplam Karakter Sayısı	MSER Doğru Karakter Sayısı	MSER Doğruluk Oranı (%)
img1	35	23	65,71	40	30	75,00
img2	70	30	42,86	41	29	70,73
İmg3	51	36	70,59	46	43	93,48
İmg4	70	42	60,00	56	48	85,71
img5	39	28	71,79	27	27	100,00
img6	33	14	42,42	20	16	80,00
img7	38	23	60,53	35	24	68,57
img8	38	37	97,37	37	36	97,30
img9	18	16	88,89	14	13	92,86
img10	31	24	77,42	23	22	95,65
img11	32	10	31,25	27	25	92,59
img12	37	35	94,59	36	36	100,00
img13	19	8	42,11	20	17	85,00
img14	10	7	70,00	8	8	100,00
img15	29	28	96,55	28	28	100,00
img16	26	13	50,00	13	13	100,00
img17	39	29	74,36	32	29	90,63
img18	18	15	83,33	16	15	93,75
img19	44	21	47,73	62	39	62,90
img20	33	19	57,58	26	18	69,23

Tablo 2’de ICDAR 2013 veri setinden alınan 20 doğal görüntüde Otsu modeli kullanılan metin tanıma ortalama doğruluk oranı %66,25 iken MSER yöntemi kullanılan metin tanıma ortalama doğruluk oranı %87,67 olarak bulunmuştur. Sonuçlardan yola çıkılarak MSER yönteminin Otsu modeline göre doğal görüntü metin tespitinde daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 2. Görüntülerdeki Otsu ve MSER ortalama doğruluk oranları**

Yöntem	Ortalama Doğruluk Oranı (%)
Otsu	66,25
MSER	87,67

## **V. SONUC**

Doğal görüntülerde metin tanıma, bilgisayar bilimlerinde çalışılan önemli konulardan biridir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, değerlendirme yöntemlerine ve kullanılan veri setlerine bakıldığında, doğal görüntülerde metin tanıma için bölütleme yöntemlerinin iyi sonuçlar verdiği ve üzerinde çalışılarak geliştirilebileceği gözlemlenmiştir. İyi bir performans veren ancak mükemmel olan bir sistem hala geliştirilememiştir. Bu sebepten pek çok araştırmacı, bu konu üzerinde çalışmakta ve oluşturdukları sistemlerde en iyi performansı elde etmeyi amaçlamaktadır. İlerleyen çalışmalarda üzerinde çalışılan veri kümesinin genişletilmesi ve başarı oranının artırılması hedeflenmektedir.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] L. Eikvil. (2022, February 26). *Optical character recognition* [Online]. Available: <http://home.nr.no/~eikvil/OCR.pdf>.
- [2] N. Erdoğan, “Türkçe manzara metni veri kümesi,” 25th Signal Processing and Communications Applications Conference’ında sunuldu, Antalya, 2017.
- [3] M. Thodaskar, and R. Devi, “Segmentation and detection of text in natural scene images,” *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 4, no. 6, pp. 1272-1277, 2015.
- [4] O. Granlund, and K. Böhrnsen. (2022, March 5). *Improving character recognition by thresholding natural images*, [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1108666/FULLTEXT01.pdf>.
- [5] M. Huang, W. Yu, and D. Zhu, “An improved image segmentation algorithm based on the Otsu method,” in *13th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*, Japan, 2012, pp. 135-139.
- [6] B. Shi, X. Wang, P. Lyu, C. Yao, and X. Bai, “Robust scene text recognition with automatic rectification,” in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2016, pp. 4168-4176.
- [7] B. Kır Savaş, S. İlkin, S. Hangişi, ve S. Şahin, “Gölge tespitinde kullanılan Bayes sınıflandırma, Otsu bölütleme ve histogram dağılımı yöntemlerinin karşılaştırılması,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 5, s. 2, ss. 345-355, 2016.

- [8] H. Chen, S. S. Tsai, G. Schroth, D. M. Chen, R. Grzeszczuk, and B. Girod, "Robust text detection in natural images with edge-enhanced maximally stable extremal regions," in *2011 18th IEEE International Conference on Image Processing*, Brussels, Belgium, 2011, pp. 2609-2612.
- [9] G. Chakraborty, S. Panda, and S. Roy. (2022, March 9). *Text extraction from image using MATLAB* [Online]. Available: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3525969](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3525969)
- [10] T. E. De Campos, B. R. Babu, and M. Varma (2009), "Character recognition in natural images," in *Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, 2009, 273-280.
- [11] K. Wang, B. Babenko, and S. Belongie, "End-to-end scene text recognition," in *2011 International Conference on Computer Vision*, IEEE, Barcelona, Spain, 2011, pp. 1457-1464.
- [12] K. Karthick, K. B. Ravindrakumar, R. Francis, and S. Ilankannan, "Steps involved in text recognition and recent research in OCR; a study," *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 3095-3100, 2019.
- [13] C. Shi, C. Wang, B. Xiao, Y. Zhang, S. Gao, and Z. Zhang, "Scene text recognition using part-based tree-structured character detection," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, USA, 2013, pp. 2961-2968.
- [14] N. Ezaki, M. Bulacu, and L. Schomaker, "Text detection from natural scene images: towards a system for visually impaired persons," in *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, IEEE, Cambridge, England, 2004, pp. 683-686.
- [15] K. Karthick, and S. Chitra. "Novel method for energy consumption billing using optical character recognition," *Energy Engineering*, vol. 114, no. 3, pp. 64-76, 2017.
- [16] R. C. Gonzalez, and E. R. Woods, *Digital Image Processing*, 3rd ed., New Jersey, USA: Pearson Education, 2008.
- [17] T. Asano, D.Z. Chen, N. Katoh, and T. Tokuyama, "Polynomial-time solutions to image segmentation," in *Proceedings of the Seventh Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, Atlanta, Georgia, 1996, pp. 104-113.
- [18] Y. P. Zhu, and P. Li, "Survey on the image segmentation algorithms," in *Proceedings of the International Field Exploration and Development Conference 2017*, Singapore, 2019, pp. 475-488.
- [19] M. Sridevi and C. Mala, "A survey on monochrome image segmentation methods," *Procedia Technology*, vol. 6, pp. 548-555, 2012.
- [20] N. R. Pal, and S. K. Pal, "A review on image segmentation techniques," *Pattern Recognition*, vol. 26, no. 9, pp. 1277-1294, 1993.
- [21] M. W. Khan, "A survey: image segmentation techniques," *International Journal of Future Computer and Communication*, vol. 3, no. 2, pp. 89-93, 2014.
- [22] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histogram," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979.
- [23] A. Çelik, ve S. Demirel, "Otsu ve Ridler-Calvard görüntü işleme yöntemlerinin zatürre tespitinde kullanılması," *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 10, s. 1, ss. 917-923, 2022.



- [24] J. Matas, O. Chum, M. Urban, and T. Pajdla, "Robust wide-baseline stereo from maximally stable extremal regions," *Image and Vision Computing*, vol. 22, no. 10, pp. 761-767, 2004.
- [25] T. Lindeberg, "Detecting salient blob-like image structures and their scales with a scale-space primal sketch: A method for focus-of-attention," *International Journal of Computer Vision*, vol. 11, no. 3, pp. 283-318, 1993.
- [26] Y. Alginahi, *Character Recognition*, 1st ed., Rijeka, Croatia: InTech, 2010, ch. 1, pp. 1-19.
- [27] N. H. Barnouti, M. Abomaali, and M. H. N. Al-Mayyahi, "An efficient character recognition technique using K-nearest neighbor classifier," *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no. 4, pp. 3148-3153, 2018.
- [28] P. M. Manwatkar, and K. R. Singh, "A technical review on text recognition from image," in *2015 IEEE 9th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*, IEEE, 2015, pp. 1-5.
- [29] M. A. Luján, M. V. Jimeno, J. Mateo Sotos, J. J. Ricarte, and A. L. Borja, "A survey on EEG signal processing techniques and machine learning: applications to the neurofeedback of autobiographical memory deficits in schizophrenia," *Electronics*, vol. 10, pp. 3037-3055, 2021.
- [30] R. Mittal, and A. Garg. "Text extraction using OCR: a systematic review," in *2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, IEEE, 2020, pp. 357-362.
- [31] B. Bektaş, S. Babur, U. Turhal, ve E. Köse, "Makine öğrenmesi yardımıyla optik karakter tanıma sistemi," *5. Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu*, 2016, ss. 487-494.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## 5G Uygulamaları için Eliptik Mikroşerit Anten Tasarımı

 Mustafa MUTLU<sup>a,\*</sup>,  Çetin KURNAZ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Teknik Bilimler MYO, Ordu Üniversitesi, Ordu, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mustafamutlu@odu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1093225

### Öz

Bu çalışmada 5G uygulamalarında kullanılmak üzere dielektrik malzemesi PF-4 ( $\epsilon_r:1,06$ ,  $\tan\delta:0,0001$ ,  $h:2$  mm), toprak ve yama kısmı yapışkan bakır banttan oluşan, toplam 42,453 GHz bant genişliğinde çalışan yüksek kazançlı bir eliptik mikroşerit anten tasarlanmıştır. Tasarlanan anten 5G uygulamalar için Orta bant I, Orta bant II ve Yüksek bantta yer alan 6 farklı frekans aralığında çalışabilmektedir. Antenin çalışma frekans aralıkları 3,46-3,69 GHz; 11,61-12,34 GHz; 13,22-20,29 GHz; 21,43-21,92 GHz; 24,44-25,14 GHz ve 26,77-60 GHz'dir. Bu frekans aralıklarında en düşük anten kazancı 8,28 dBi iken en yüksek anten kazancı ise 30,35 dBi'dir. Antenin yüksek bantta, 47,7 GHz frekansındaki verimi % 96,721'dir. Tasarlanan yüksek kazançlı anten, 5G uygulamalarında anten dizisi kullanılmadan geniş bir frekans bandı ve birden fazla frekans aralığında kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Beşinci nesil, Eliptik mikroşerit anten, Bant genişliği, CST.

## Elliptical Microstrip Antenna Design for 5G Applications

### ABSTRACT

In this study, a high-gain elliptical microstrip antenna, consisting of dielectric material PF-4 ( $\epsilon_r:1.06$ ,  $\tan\delta:0.0001$ ,  $h:2$ mm), ground, and patched adhesive copper tape, operating in a total bandwidth of 42.453 GHz, was designed for use in 5G applications. The designed antenna can operate in 6 different frequency bands in the Mid bant I, Mid bant II and High bant for 5G applications. The operating frequency ranges of the antenna are 3.46-3.69 GHz, 11.61-12.34 GHz, 13.22-20.29 GHz, 21.43-21.92 GHz, 24.44-25.14 GHz, 26.77-60 GHz. In these frequency ranges, the lowest antenna gain is 8.28 dBi, while the highest antenna gain is 30.35 dBi. The efficiency of the antenna in the high band, at the frequency of 47.7 GHz, is 96.721 %. The designed high-gain antenna can be used in a wide frequency band and multiple frequencies ranges without using antenna arrays in 5G applications.

**Keywords:** Fifth generation, Elliptical microstrip antenna, Bandwidth, CST.

# I. GİRİŞ

Toplumların haberleşmeyle ilgili talepleri, teknolojik gelişmelere hız kazandırmıştır. Özellikle cep telefonu üzerinden kurgulanmış bir dünyada mevcut olan (2G, 3G, 4G) sistemlerin yetersiz kalmasına neden olmuştur. Bu yüzden mevcut olan bu eski sistemlerin yerine bu sistemlerin sağlayamadığı veya daha yavaş sağladığı hizmetleri, daha hızlı yerine getirecek beşinci nesil (Fifth Generation, 5G) sistem geliştirilmiştir. Bu sistem, kablosuz internet teknolojisini çok daha hızlı ve daha az bir gecikmeyle sağlamaktadır. 5G’de ağ dilimlemesi (Network Slicing, NS) yöntemiyle; bir bağlantının o anda internet erişimi sağladığı sistem ve cihazların farklı ihtiyaçlarına bağlı bölümlenmesini gerçekleştirerek tüm cihazlara ve taleplere optimal düzeyde internet bağlantısı sunabilmektedir. Yine bu yöntemle sistemin ihtiyaç duyduğu farklı bağlantı tiplerini sağlayarak bağlantı kalitesi ve verim artırılabilir. Nesnelerin interneti (IoT) teknolojisi, güvenliği yüksek bir noktaya taşımaktadır. Dokunsal geri besleme (Haptic Feedback, HF) yöntemiyle birden çok yenilik ortaya çıkmıştır. Yine 5G ile, insansız taşıtlar, ev eşyaları veya akıllı evlerin uzaktan kontrolü sağlanabilecektir. Sanal Gerçeklik (Virtual Reality, VR) yöntemiyle sağlık hizmetleri alanında uzaktan muayene ve ameliyatlar yapılabilmektedir [1].

Her yeni teknoloji beraberinde yeni bir frekans tahsisini zorunlu hale getirmektedir. 5G mobil ağlar için yaklaşık 1 GHz’den 100 GHz’e kadar frekans bantları tahsis edilmiş olup bu bantlardan bazıları için lisans izni alınmıştır. Tablo 1’de 5G için kullanılan frekans bantları gösterilmiştir [2].

*Tablo 1. 5G frekans bantları*

<b>Bantlar</b>	<b>Frekans aralığı (GHz)</b>
Düşük bant	(0,79-0,86) 1 GHz <
Orta bant I	1-2,6 GHz
Orta bant II	3,5-6 GHz
Yüksek bant	24,25-52,6 GHz

5G ve uygulamalarıyla ilgili birçok araştırma yapılmış ve bu çalışmaların yakın gelecekte de devam edeceği gözükmektedir. Temmuz 2016’da Samsung, Çin Mobil Araştırma Enstitüsü (China Mobile Research Institute, CMRI) ile birlikte yaptığı çalışmalar sonucunda 5G’nin prototip denemesini gerçekleştirmiştir [3]. Ocak 2019’da Çin’de Dr. Ling Zhipei 5G teknolojisi kullanarak üç bin kilometre uzaklıkta bulunan bir Parkinson hastasının beynine üç saat süren bir operasyonla bir nörostimülâtör yerleştirilerek ilk beyin ameliyatını gerçekleştirmiştir. Cerrah, Pekin merkezli PLAGH hastanesinde bulunan araçları üç bin kilometre uzaklıkta bulunan güney Hainan’daki klinikten idare etmiştir [4].

Bu alanda yapılmış bazı bilimsel çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir: Gelecek nesil 5G mobil haberleşme cihazlarına yönelik 3 farklı mimari kullanılarak toplamda sekiz log-periyodik yama anten tasarımı yapılmıştır [5]. Bu antenler için yapılan çalışmanın birincisinde 6 GHz altı 5G uygulamalarına yönelik 3,3-4,2 GHz frekans aralığı için log-periyodik benzeri lineer azalan monopol bir yama anten yapısı tasarlanmıştır. İkinci ve üçüncü anten çalışmasında, ilk tasarlanan logaritmik-periyodik monopol anten (Logarithmic Periodic Monopole Antenna, LPMA) kanal kapasitesini artırmak için sırasıyla 4 ve 8 elemanlı Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (Multiple Input Multiple Output, MIMO) mimarileri uygulanmıştır. 5G mobil teknolojisine uygun olarak 28 GHz frekansında çalışan dikdörtgen yama mikroşerit antenler, farklı yama (gümüş ve tantal) malzemeleri için bilgisayar benzetim teknoloji programı (Computer Simulation Technology, CST) ile tasarlanmış ve tasarlanan antenlerin performansları karşılaştırılmıştır [6]. 5G için 28 ve 60 GHz frekansında çalışacak şekilde iki anten üretmiştir [7]. 38 ve 54 GHz de (5G) çalışan ve sırasıyla bant genişlikleri 1,94 GHz ve 2 GHz olan mikroşerit anten tasarlamıştır [8]. 5G uygulamalarında kullanılmak üzere 28 ve 38 GHz frekansında çalışan mikroşerit anten tasarlamıştır [9]. 5G uygulamaları için 60 GHz’de çalışacak şekilde alt yapısı üç farklı yalıtkan (Rogers RO4350B, FR-

4 ve Arlon AD255C) kullanılarak hangi alt yapı (yalıtkan)'nın daha uygun olduğu testi yapılmıştır [10]. 5G ve uzay uygulamalarında kullanılmak üzere üç farklı bantta (23,9 GHz; 35,5 GHz ve 70,9 GHz) çalışan mikroşerit anten tasarlamıştır [11]. 5G yüksek bant (28 GHz) ta 14 dBi kazancına sahip 2x2 dikdörtgen yamalı anten dizisinden oluşan mikroşerit anten tasarlamıştır [12]. 5G ve uzun vadeli evrim (Long Term Evolution, LTE) uygulamalarında kullanılmak üzere üç farklı frekans bandında ( $f_1$  [790-860 MHz],  $f_2$  (LTE) [1,6-2,3 GHz], ve  $f_3$  (5G alt bant) [3,3-3,8 GHz]) çalışacak şekilde anten tasarlamıştır [13]. 5G üst bantta (45 GHz) çalışacak şekilde üç dikdörtgen yamalı anten dizisi tasarlamıştır [14]. Birinci anten 4x1, ikinci anten 8x1 ve üçüncü anten ise 16x1 boyutundadır. 5G üst bantta (27-29,5 GHz) çalışan üç farklı çoklu saplamalı anten dizisi tasarlamıştır [15]. 5G uygulamalarında çalışmak üzere dört tane dikdörtgen yamalı, bir tanede eliptik anten üretmiştir [16]. Dikdörtgen antenlerin bant genişliği 7,16 GHz (7,76 GHz-14,92 GHz) arasında, kazançları ise (G:5,2-7,17 dBi) arasında değişmekte olup, anahtarlama işlemi pin diyotları ile sağlanmıştır. 5G orta bant için (6 GHz) çalışan çift bantlı antenlerin literatür taraması yapılmıştır [17]. 5G iletişiminin 6 GHz altı bantlar için üç rezonans (1,506; 2,527 ve 3,546 GHz) frekansında çalışan dairesel anten üretmiştir [18]. 5G'nin üst bandında (26 GHz) çalışan dikdörtgen anten dizisi üretmiştir [19]. 5G'nin alt bandında çalışan (3,15 GHz) yaması göz şeklinde bant genişliği 27,32 GHz (2,68-30 GHz), kazancı G:2,35-7,81 dBi arasında değişen dört farklı anten üretmiştir [20]. 5G'nin taşınabilir iletişim cihazları kablosuz bağlantı [(wireless local area network, WLAN), Dünya çapında mikrodalga erişimi (Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX), LTE, endüstriyel bilimsel tıp (Industrial Scientific Medical, ISM) (2,3-2,7 GHz, 3,4-3,6 GHz ve 5-6 GHz)] için anten tasarımı yapmıştır [21]. 5G'nin üst bandında (29 GHz ve 38 GHz) çalışan ve kazancı 12,5 dBi olan 2x2 dikdörtgen dizi anten üretmiştir [22]. 5G alanında yapılmış farklı antenler gözden geçirilmiştir. Tasarım ilkeleri, kazanımları ve performansları analiz edilmiştir [23]. 5G orta bantta (3-7,8 GHz) çalışan beş kollu yelpaze şeklinde anten üretmiştir [24]. 21-40 GHz frekans bandında çalışan dikdörtgen mikroşerit anten üretmiştir [25]. Pin diyodu anahtarlama yöntemiyle çift frekansta çalışabilen anten üretmiştir [26]. 5G uygulamaları için (25,08-25,44 GHz) frekansında çalışan ve kazancı 12,03 dBi olan bir anten dizisi tasarlamıştır [27]. 5G kablosuz büyük ölçekli çok girişli çok çıkışlı (Massive Multiple-Input Multiple-Output, mMIMO) sistemi irdelemiştir [28]. 25,66-39,01 GHz frekans bandında çalışan ve tepe kazancı 19 dBi olan anten üretmiştir [29]. (2,25 GHz; 5,5 GHz; 6,5 GHz; 8,2 GHz ve 9,5 GHz) beş farklı frekansta çalışabilen altıgen mikroşerit anten tasarlamıştır [30]. 2,4 GHz; 5,5 GHz ve 7,5 GHz frekansında çalışabilen dikdörtgen yamalı mikroşerit anten tasarlamış ve üretmiştir [31]. Tablo 2'de literatürde kaynak olarak gösterilen çalışmaların (yalıtkan malzemenin türü, yüksekliği, dielektrik sabiti, kayıp tanjantı, yama türü, çalışma frekansı, bant genişliği, anten verimi, kazanç veya yönlülük) gibi birçok kritere bağlı değerlendirmesi yapılmıştır.

**Tablo 2.** Literatürde yapılan çalışmalara ait değerlendirmeler

Referans	Yalıtkan/h/tanδ/yama tipi	$\epsilon_r$	$f_r$ (GHz)	Bw (GHz)	G/D (dB)
[5]	FR4, h:1,6 mm, tanδ=0,019 (kayıp tanjant), 4 ve 8 elemanlı log-periyodik monopol, üretilmiştir	4,3	6	0,9	7,8
[6]	FR4, h:1,6 mm, tanδ=0,019, dikdörtgen anten	4,3	28	1	6,94
[7]	Dikdörtgen şekilli anten	2,43	28; 60	0,75	
[8]	Rogers RT5880 tanδ=0,0013 h:0,508 mm	2,2	38; 54	1,94; 2	12
[9]	FR4, h:1,6 mm, tanδ=0,019	4,3	28; 38	3,34;0,395	3,75; 5,06
[10]	Rogers RO4350B, FR-4, Arlon AD255C, yarım üç formunda		60	1,8; 3,8; 1,4	7,05; 8,22; 8,35

**Tablo 2 (devam).** Literatürde yapılan çalışmalara ait değerlendirmeler

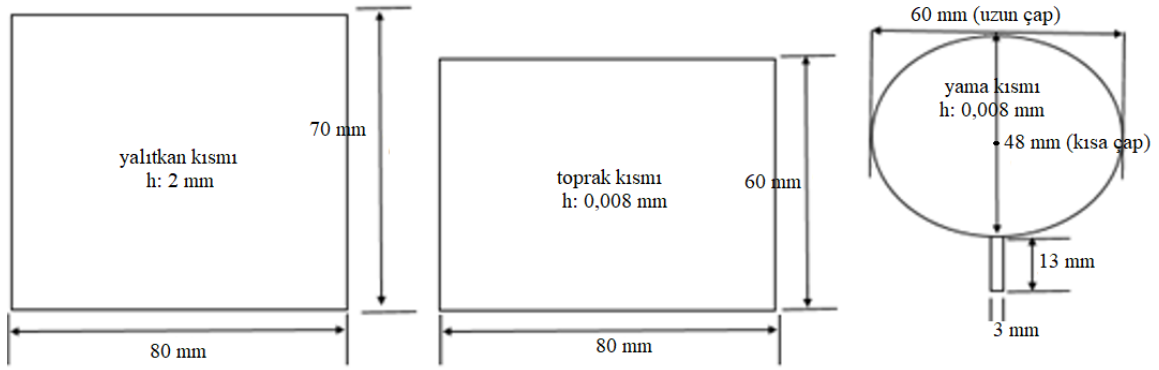
[11]	FR4, h:1,6 mm, $\tan\delta=0,019$ , dikdörtgen anten	4,3	23,9; 35,5; 70,9	1,1; 2,5; 4,2	4,435; 0,6602; 5,6402
[12]	Rogers RTDuroid 5880LZ 2*2 dikdörtgen anten	1,96	28	1,14	14
[13]	U şeklinde anten		2,3; 3,5	0,1; 0,5	
[14]	$\tan\delta = 0,0007$ , h: 0,127-0,787 mm, 4*1, 8*1 ve 16*1 anten	2	45	1,51-6,8	Anten verimi %81-%92
[15]	Rogers RT/Duroid 5880, h: 0,38 mm, $\tan\delta=0,0009$ üç farklı çoklu saplamalı anten dizisi	2,2	27-29,5	2,5; 2,5; 2,5	12,85; 14,6; 12,2
[16]	Roger-RT5880, h: 0,1 mm, $\tan\delta=0,0009$ 4 tane dikdörtgen yamalı bir tanede eliptik anten	2,2		7,16	5,2-7,17
[18]	Rogers 6010 dairesel anten	10,2	1,506; 2,527; 3,546	0,1; 0,15,	
[20]	FR4, h:1,6 mm, $\tan\delta=0,019$ , 4 farklı anten	4,3	3,15; 6,36	27,32	2,35-7,81
[22]	RT Duroid 5880, h: 1,575 mm. 2*2 dikdörtgen dizi anten	2,2	29; 38	4,5; 3,75	12,5
[24]	Rogers RO3004, $\tan\delta = 0,0013$ , beş kollu yelpaze şeklinde anten üretilmiştir	3,55	3,1	3-7,8	1,8
[25]	FR4, h:1,6 mm, $\tan\delta=0,019$ , dikdörtgen mikroşerit anten	4,3	28; 37; 39	0,85; 1,6; 1,4	0,5; 1; 1,1
[26]	FR4, h:1,6 mm, $\tan\delta=0,019$ , Pin diyodu anahtarlamalı, çift frekanslı anten	4,3	10; 18		15; 13
[27]	Rogers TC350, h: 0,76 mm dikdörtgen anten dizisi	3,5	25,3	25,08-25,44	12,03
[29]	Rogers 5880, $\tan\delta=0,0009$ , h=1,575 mm, F4BME220, $\tan\delta=0,0009$ 4*4 anten dizisi	2,2 2,2	30	25,66-39,01	19
Önerilen anten	PF-4, h:2mm, $\tan\delta=0,0001$ , eliptik mikroşerit anten tasarladık	1,06	47,7	33,23	9,99-13,63

## **II. MATERYAL VE METOT**

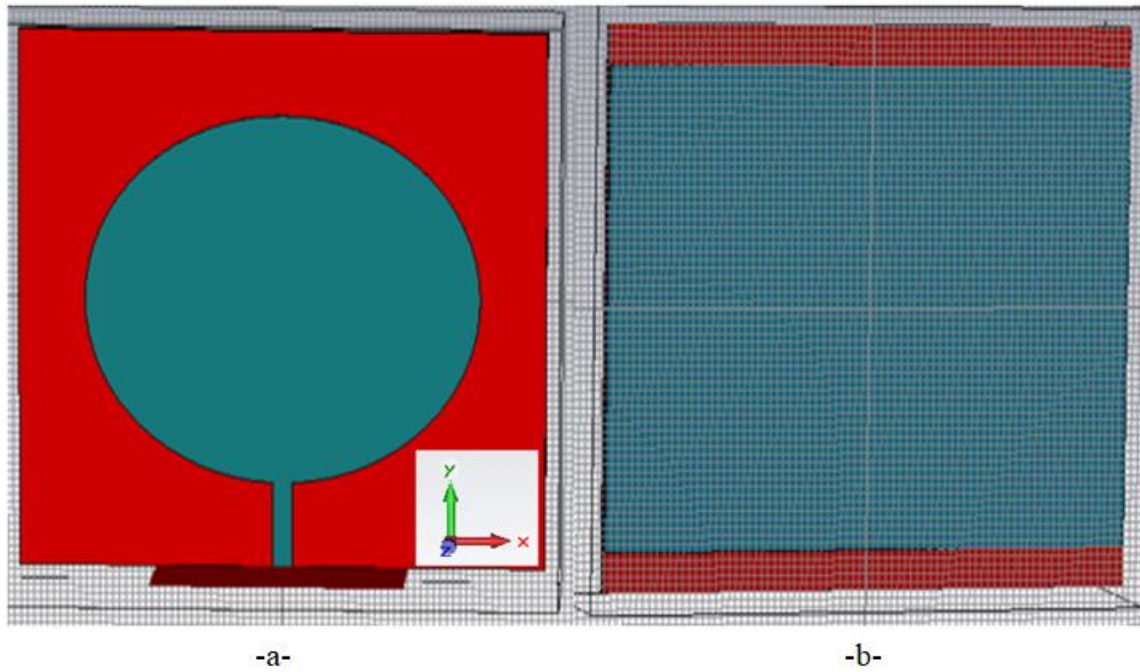
Eliptik mikroşerit antenler yama, yalıtkan ve toprak olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Mikroşerit anten tasarımında sadece dikdörtgen ve dairesel antenin bağıntıları mevcut olduğundan, eliptik antenin yarıçaplarını veren bağıntılar olmadığından, dairesel antenin bağıntıları kullanılarak dairesel antenin yama kısmının yarıçapı bulunur, daha sonrada bu yarıçap değeri yatayda ve düşeyde farklı alınarak eliptik antene uydurulur. Bu yüzden ebatları belirlenen antenin (Şekil 1, Şekil 2), önce



antenin dairesel olduğu düşünülerek yama kısmının yarıçapı (a), bilinen değerler ( $\epsilon_r$ ,  $f_r$  ve h) kullanılarak (1) eşitliğinde verildiği gibi hesaplanır [32].



Şekil 1. Tasarlanan eliptik antenin ebatları



Şekil 2. CST ortamında tasarlanan eliptik antenin -a- önden, -b- arkadan görüntüsü

$$a = \frac{F}{\sqrt{\left\{1 + \frac{2xh}{\pi x F x \epsilon_r} \left[ \ln \left( \frac{\pi x F}{2xh} \right) + 1.7726 \right] \right\}}} \quad (1)$$

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \times \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

Baskın mod  $TM_{110}$  için rezonans frekansı ( $f_{r110}$ ) (3) eşitliği ile hesaplanır.

$$(f_r)_{110} = \frac{1.8412 \times c}{2 \times \pi \times a_e \times \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$

Burada;

c ışığın boşluktaki hızını (m/s),

h dielektrik kısmın yüksekliğini (mm),

$\epsilon_r$  anten için kullanılan dielektrik malzemenin dielektrik sabitini göstermektedir. Antenin yarı-büyük (yatay yarı çap) eksen uzunluğu 30 mm ve yarı-küçük (düşey yarı çap) eksen uzunluğu ise 24 mm'dir. Bu çalışmada yalıtkan olarak, tek parça halinde bulunan ve kayıp tanjantı düşük PF-4 malzemesi kullanılmıştır [33]. Yalıtkan malzeme, kırılğan bir yapıya sahip olduğu için kalınlığı (2 mm) alınmıştır. Tablo 3'te PF-4'e ait özellikler verilmiştir.

**Tablo 3.** Yalıtkan malzemenin özellikleri

Yalıtkan malzemenin türü	Dielektrik katsayısı ( $\epsilon_r$ )	Kayıp tanjantı ( $\tan\delta$ )	Kalınlık h (mm)
PF-4	1,06	0,0001	2

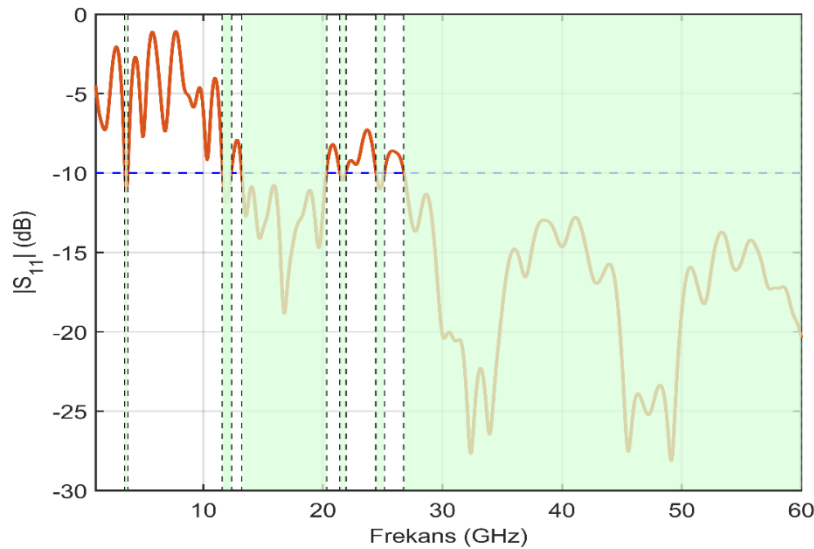
Antenin iletken (yama ve toprak) kısmı için yalıtkan malzemenin üzerine yapıştırılacak şekilde bir tarafı yapışkan bakır bant seçilerek antenin üretimi için kolaylık sağlanmıştır. Tablo 4'te yama ve toprak kısmı için seçilen iletkenin özellikleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Yama ve toprak kısmı için kullanılan bir tarafı yapışkan bakır bantın özellikleri

İletkenin (yama ve toprak kısmı) türü	Elektriksel iletkenlik ( $\sigma$ ) (MS/m)	Kalınlık h (mm)
Bir tarafı yapışkan bakır bant	58	0,08

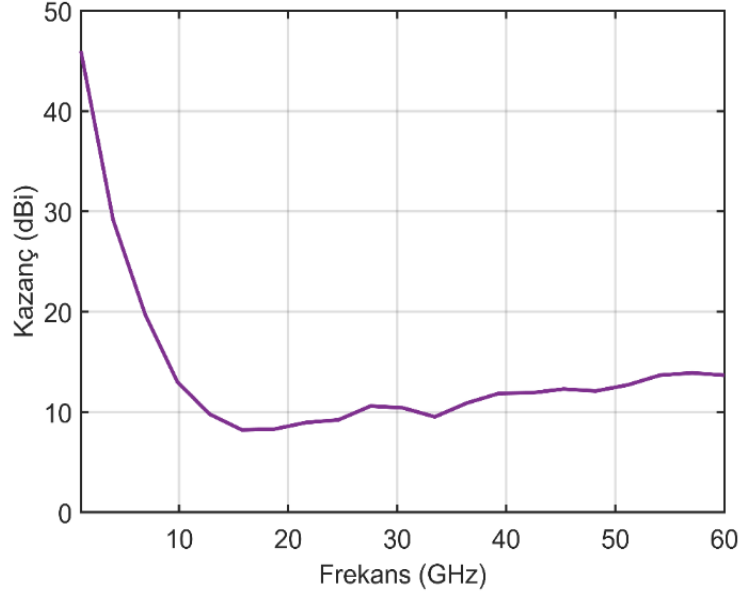
### **III. BENZETİM SONUÇLARI**

Geri dönüş kaybı (Return Loss, RL), antene gelen işaretin ne kadarlık kısmının antenden gönderildiğinin (ışınma) ve ne kadarının ise antenden yayılmayıp geriye yansıdığını gösteren bir kavramdır. Antenin çalışma bölgesi olarak, yansıma katsayısının ( $S_{11}$ ) -10 dB ve bu değerden aşağıda olduğu kısımlar dikkate alınır.  $S_{11}$  değeri -10 dB'den ne kadar aşağıda olursa, o bölgede antenin daha iyi çalışacağı anlamına gelir.  $S_{11}$ 'in çalışma bölgesi içinde en küçük olduğu frekanslar antenin çalışma (kritik) frekanslarıdır. CST ortamında tasarlanan antenin için  $S_{11}$  değeri Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi tasarlanan eliptik mikroşerit antenin  $S_{11}$  değerinin -10 dB'den aşağıda olduğu altı farklı çalışma bölgesi bulunmaktadır. Bu frekans bölgeleri; 3,46-3,69 GHz; 11,61-12,34 GHz; 13,22-20,29 GHz; 21,43-21,92 GHz; 24,44-25,14 GHz; 26,77-60 GHz frekans aralıklarıdır.



**Şekil 3.** Tasarlanan eliptik anten için  $S_{11}$  değeri

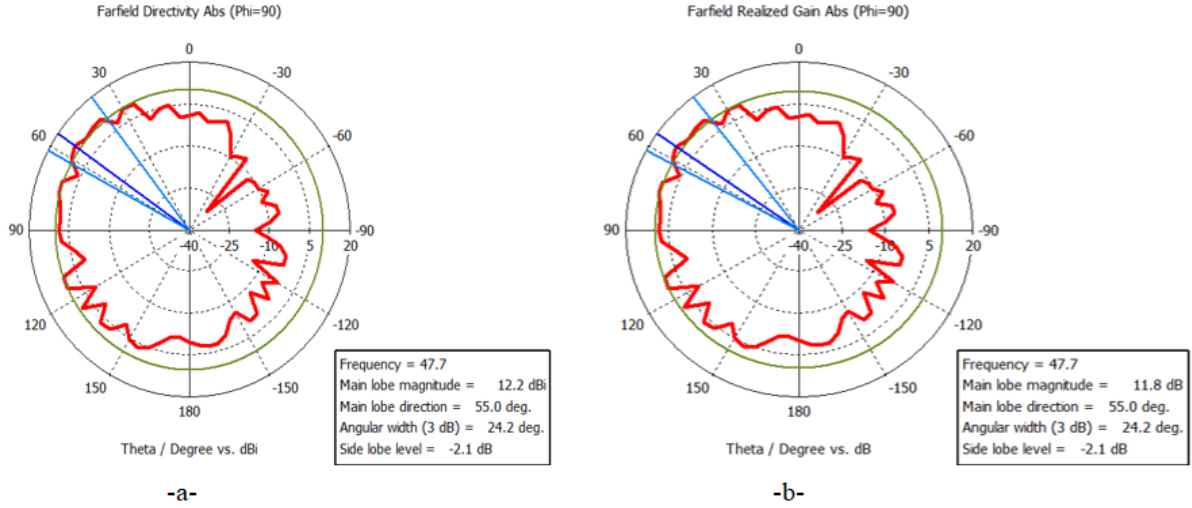
Antenden gönderilen elektromanyetik dalga, antenin kazancıyla çarpıldığı için antenin kazancı, antenin yeterli ışınım yapması için önemli bir parametredir. Şekil 4'te tasarlanan eliptik anten için kazancın frekansla değişimi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi özellikle 5G yüksek frekans bandı için (24,25-52,6 GHz) anten kazancı 13,63 dBi gibi yüksek bir değerde olabilmektedir. Literatüre bakıldığında hem bu kadar geniş bir band genişliği (42,453 GHz), hem bu kadar farklı bantta (Orta1, Orta 2 ve yüksek bant), hem de anten dizisi kullanmadan bu kadar yüksek bir kazanç (13,63 dBi) elde etmek oldukça zordur.



**Şekil 4.** Kazancın frekansla değişimi.

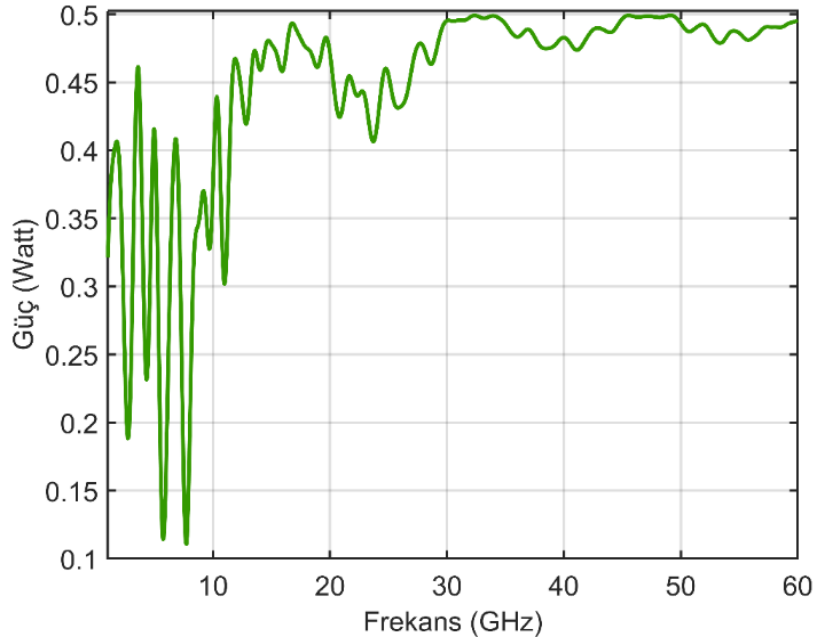
Antenin yönlülüğünün tek boyutlu değişimi, uzak alanın 3 dB açıklığını, hangi açılar arasında (antenin kapsaması) ışınımın yapıldığını, hedef veya alıcı antenin hangi bölgede konumlanması gerektiği bilgisini içermektedir. Tasarlanan anten için yönlülük değerinin tek boyutlu değişimi Şekil 5-a-'da verilmiştir. 47,7 GHz için ana ışınım yönünün  $55^\circ$  de bulunduğu, yarı güç demet genişliğinin (3dB) ise  $24,2^\circ$  olduğu görülmektedir. Antenin 3dB demet genişliğinin  $24,2^\circ$  gibi dar bir açı olması gücün ne kadar iyi dar bir alana aktarıldığını, dolayısıyla da yönlülüğün ne kadar iyi olduğunu gösterir. Yönlülük ve kazanç için için 47,7 GHz frekansının seçilmesi, ABD'de kullanılan 5G üst bandı için belirlenen çalışma bandında 47,2 GHz-48,2 GHz içinde bulunmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5 -a- ve -b-'ye bakıldığında 47,7 GHz için sırasıyla yönlülüğün 12,2 dBi ve kazancın ise 11,8 dBi olduğu görülmektedir. Bu iki değerden 47,7 GHz frekansında antenin verimini yüzde olarak aşağıdaki bağıntıyla bulmak mümkündür.

$$\eta (\text{verim})(\%) = \frac{G}{D} 100 = \frac{11,8}{12,2} 100 = \% 96,721 \quad (4)$$



Şekil 5. Yönlülüğün ve kazancın tek boyutlu değişimi

Şekil 6’da antenden yayılan gücün frekansla değişimi gösterilmiştir. Şekilden de çalışma frekansında gücün yaklaşık maksimum olduğu (0,5 W) görülmektedir. Aynı zamanda antenden gönderilen gücün hangi frekanslarda nasıl değiştiği, bize çalışma frekansının seçileceği bölgenin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.



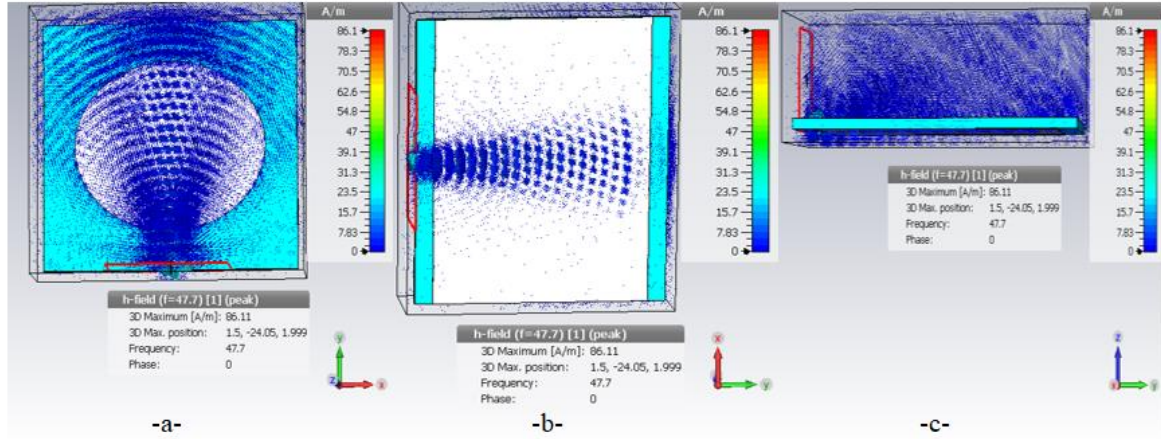
Şekil 6. Gücün frekansla değişimi

Tablo 5’te tasarlanan eliptik antenin  $S_{11}$  değeri dikkate alınarak; bu değer  $-10$  dB’den aşağı düştüğü frekans değerleri, çalışma aralığındaki en küçük  $S_{11}$  değerleri, antenin kritik frekansları, bu çalışma bantlarına ait kazancın değişimi ve en alt satırda belirlenen frekanstaki yönlülüğü ve antenin verimi verilmiştir. Tablodan çalışma frekansında (47,7 GHz) 26,77-60 GHz aralığında  $S_{11}$  ( $-28,065$  dB)’in tüm çalışma alanı içindeki  $S_{11}$ ’in minimumu olması, seçilen çalışma frekansının doğru seçildiğini göstermektedir.

**Tablo 5.** Tasarlanan eliptik antene ait genel değerlendirme

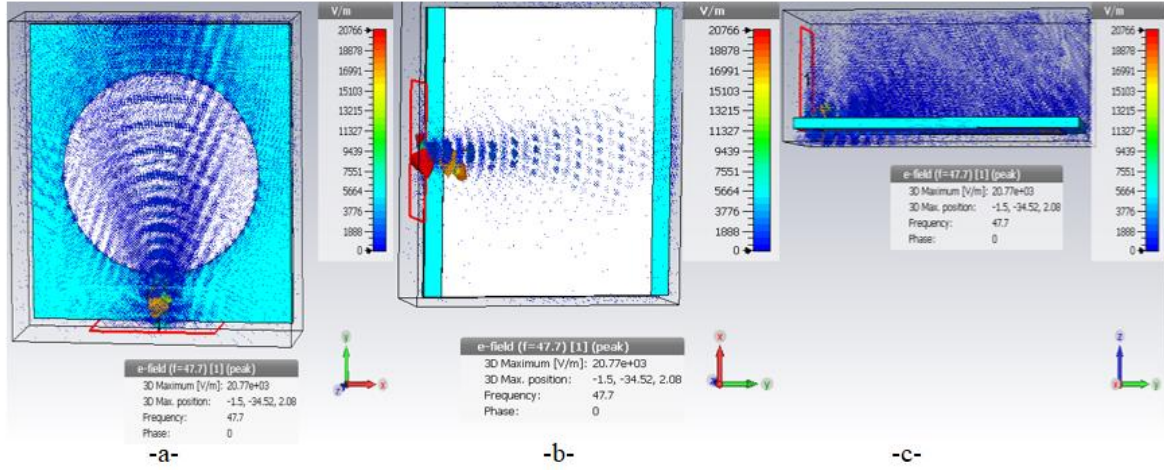
Frekans aralığı (GHz)	S <sub>11</sub> (dB)	Bant genişliği (GHz)	Kazanç (dBi)	Yönlülük (dBi)	Verim (%)
3,464-3,691	-11,087	0,227	30,35-29,82		
11,615-12,34	-11,679	0,725	9,33-9,97		
13,222-20,295	-18,641	7,075	8,28-8,83		
21,43-21,926	-10,415	0,496	8,5-8,57		
24,441-25,141	-10,976	0,7	8,81-9,1		
26,77-60	-28,065	33,23	9,99-13,63		
47,7 GHz	-26,31		11,8	12,2	96,721
Toplam bant genişliği: 42,453 GHz					

Şekil 7’de 47,7 GHz frekansına ait manyetik alanın, Şekil 8’de elektrik alanın anten üzerindeki dağılımının üstten, antenin arkasından ve antenin yan tarafındaki görüntüsü verilmiştir. Bu şekiller anten üzerinde manyetik/elektrik alanın hangi bölgelerde daha yoğun olduğunu göstermesi açısından, anten verici olarak kullanılacaksa belirlenen hedefin doğru konumlanmasında yardımcı olmaktadır. Anten alıcı olarak kullanılacaksa da alıcı antenin en uygun konumunu belirlemekte önemli bilgiler vermektedir.



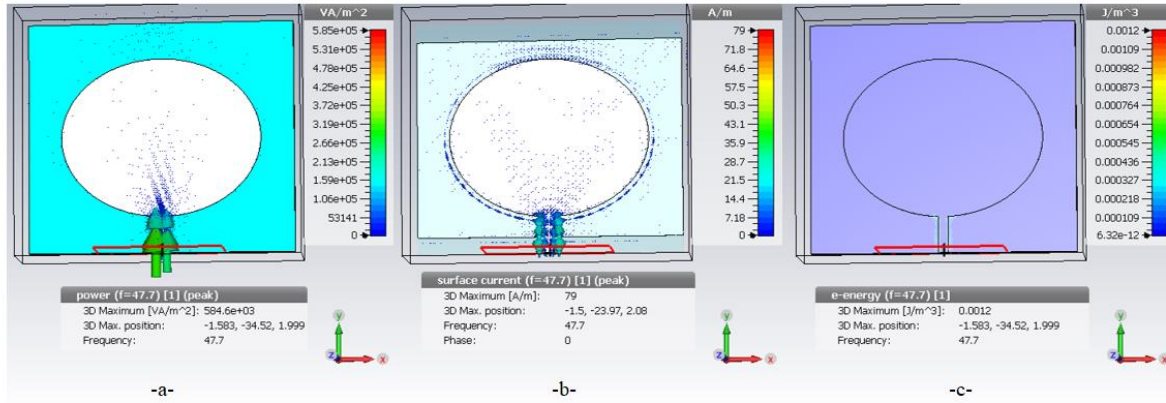
**Şekil 7.** Anten üzerindeki manyetik alanın değişiminin -a- üstten, -b-alttan ve -c-yandan görüntümü





Şekil 8. Anten üzerindeki elektrik alanının değişiminin -a- üstten, -b- alttan ve -c- yandan görünümü

Şekil 9’da 47,7 GHz frekansına ait anten üzerindeki güç yoğunluğu, yüzey akımı ve enerjinin hacimsel değişiminin üstten görünümü verilmiştir. Bu şekillerden anten üzerindeki güç, akım ve enerjinin dağılımının yoğunlaştığı bölgeyi, bunun da antenin veya hedefin yerleştirileceği yeri göstermesi açısından önem arz etmektedir.



Şekil 9. Anten üzerindeki -a-görünür güç yoğunluğu, -b-yüzey akımı ve -c-enerjinin hacimsel değişiminin üstten görünümü

## IV. SONUÇ

Bu çalışmada 5G uygulamalarında kullanılmak üzere (hem orta bant I-II hem de yüksek bantta) bir eliptik mikroşerit anten tasarlanmıştır. 80×70×2 mm ebatlarında tasarlanan mikroşerit antenin dielektrik malzemesi PF-4, toprak ve yama kısmı yapışkan bakır banttandır. Tasarlanan antenin  $S_{11}$  değeri 3,46-3,69 GHz; 11,61-12,34 GHz; 13,22-20,29 GHz; 21,43-21,92 GHz; 24,44-25,14 GHz ve 26,77-60 GHz frekans aralıklarında -10 dB’den daha düşüktür. Tasarlanan antenin toplam bant genişliği 42,453 GHz olup bu frekans aralıklarında en düşük kazancı 8,28 dBi iken en yüksek kazancı ise 30,35 dBi’dir. Antenin 3 dB demet açıklığının 24,2° olması yönlülüğün ne kadar iyi olduğunu gösterir. Antenin 47,7 GHz frekansında veriminin % 96,721 gibi büyük bir değer olmasının birinci sebebi empedans uyumunun iyi sağlanmasından, ikinci sebebi ise seçilen yalıtkan (PF-4)’ın kayıp tanjantının çok küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak önerilen eliptik mikroşerit anten, hem yalıtkan malzemesinin hafif tek parça ve kaybının düşük olması hem iletken kısmının bir tarafı yapışkan elastik bakır bant olması hem de kazancının ve veriminin yüksek olması dolayısıyla anten dizileri kullanılmadan 5G uygulamaları için geniş çalışma frekans bantlarında (üç farklı bantta) kolaylıkla kullanılabilir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] Karel (2022, 10 Ocak). *5g-nedir-5g-teknolojisi-neler-sagliyor* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.karel.com.tr/blog/5g-nedir-5g-teknolojisi-neler-sagliyor>.
- [2] Society of Cable Telecommunication Engineers, Broadband Library, by Ronan McLaughlin (2022, 5 Ocak). 5G Low Latency Requirements [Çevrimiçi]. Erişim: <https://broadbandlibrary.com/5g-low-latency-requirements/>
- [3] Samsung (2022, 10 Ocak). Samsung Successfully Conducts 5G Prototype Trial with China Mobile Communication Corporation [Çevrimiçi]. Erişim: <https://news.samsung.com/global/samsung-successfully-conducts-5g-prototype-trial-with-china-mobile-communication-corporation>
- [4] Chinadaily (2022, 10 Ocak). China performs first 5G-based remote surgery on human brain [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.chinadaily.com.cn/a/201903/18/WS5c8f0528a3106c65c34ef2b6.html>
- [5] M. Yerlikaya “5G mobil terminaller için yüksek kazançlı ve çoklu bant frekans seçici anten sistemi tasarımı”, Doktora Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, 2021.
- [6] B. Hiçdurmaz ve Ö. Faruk, Design and Analysis of 28 GHz Microstrip Patch Antenna for Different Type FR4 Claddings, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, Vol. 24, No. 2, pp. 265-288, 2019. RESEARCH DOI: 10.17482/uumfd.548410.
- [7] D. A. Outerelo, A. V. Alejos, M. G. Sanchez, and M. V. Isasa, “Microstrip Antenna for 5G Broadband Communications: Overview of Design Issues,” 2015 *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, 2015. DOI:10.1109/APS.2015.7305610, 2015.
- [8] D. Imran, M. Farooqi, “Millimeter-Wave Microstrip Patch Antenna for 5G Mobile Communication,” Conference: 2018 *International Conference on Engineering and Emerging Technologies* (ICEET), 2018. DOI:10.1109/ICEET1.2018.8338623
- [9] W. Ahmad and W. T. Khan, “Small form factor dual bant (28/38 GHz) PIFA antenna for 5G applications,” *IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility* (ICMIM), 2017. DOI:10.1109/ICMIM.2017.7918846.
- [10] B. Tütüncü, “Microstrip Antenna for 5G Communication: Design and Performance Analysis,” HORA- International Congress on Human-Computer Interaction, *Optimization and Robotic Applications* Ankara/Turkey, 2020.
- [11] S. Punith, S. K. Praveenkumar, A. J. Abhinandan, and M.R. Ahmed, “A Novel Multiband Microstrip Patch Antenna for 5G Communications,” Third International Conference on Computing and Network Communications (CoCoNet’19), *Procedia Computer Science* vol. 171, pp. 2080–2086, 2020.
- [12] M. Nabil and M. M. A. Faisal, “Design, Simulation, and Analysis of a High Gain Small Size Array Antenna for 5G Wireless Communication,” *Wireless Personal Communications* vol. 116 pp:2761–2776, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07819-9>.
- [13] R. Kumar and M. Madhavan, “Hybrid Fabric Wearable Antenna Design and Evaluation for High Speed 5G Applications,” *Wireless Personal Communications*, <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08702-x13>.

- [14] M. Shakir, S. Aslam, U. Sarwar, M. Adnan, and M. R. Khan, "Performance evaluation and design of 5g communication-based millimeter wave antenna," *Wireless Com Network*, 2021. <https://doi.org/10.1186/s13638-021-02052-9>.
- [15] A. Lak, Z. Adelpour, H. Oraizi and N.Parhizgar, "Design and SAR Assessment of Three Compact 5G Antenna Arrays," *Scientific Reports*, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00679-8>.
- [16] M. K. Shereen, M.I. Khattak, and j. Nebhen, "A review of achieving frequency reconfiguration through switching in microstrip patch antennas for future 5G applications," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, Issue. 1, pp. 29–40, 2022. [www.elsevier.com/locate/aej](http://www.elsevier.com/locate/aej).
- [17] K. Jain and V. S. Kushwah, "Design and development of dual bant antenna for sub-6 frequency bant," *Materials Today: Proceedings* vol: 47, pp. 6795–6798, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.133>.
- [18] K. K. Kazemi, E. Hosseini, S. Hu, R. Narang, S. Li, M. Arjmand and M. H. Zarifi, "MXene membrane in planar microwave resonant structures for 5G applications," *Applied Materials Today* vol. Vol: 26, 2022, 101294, <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2021.101294>.
- [19] R. Song, Z. Wang, H. Zu, Q. Chen, B. Mao, Z. P. Wu and D. He, "Wideband and low sidelobe graphene antenna array for 5G applications," *Science Bulletin*, Vol. 66, Issue 2, pp. 103-106, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.scib.2020.09.028>.
- [20] H. T. Sediq, J. Nourinia, C. Ghobadi, and B. Mohammadi, "A Novel eye-shaped monopole antenna for wideband and 5g applications," *IETE Journal of Research*, 2021, DOI: 10.1080/03772063.2020.1859959, 2021.
- [21] A. T. Abed, M. S. Jit Singh, V. Thiruchelvam, S. Duraikannan, O. A. Tawfeeq, B. A. Tawfeeq, and M. T. Islam, "Challenges and limits of fractal and slot antennas for WLAN, LTE, ISM, and 5G communication: a review paper," *Annals of Telecommunications* vol 76 pp. 547–557, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12243-020-00828-6>.
- [22] A. Firdausi, L. Damayanti, G. P. N. Hakim, and M. Alaydrus, "Design of A Dual-Bant Microstrip Antenna for 5G Communication," *Journal of Integrated and Advanced Engineering (JIAE)* Vol. 1, No. 1, pp. 65-72 March 2021. <http://doi.org/10.51662/jiae.v1i1.15>.
- [23] P. K. Malik and P. Tewari, "Design of UWB Antenna for the 5G Mobile Communication Applications: A Review 2020," *International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management (ICCAKM)*, 2020 DOI: 10.1109/ICCAKM46823.2020.9051556.
- [24] D. N. Elsheakh, "Reconfigurable Frequency and Steerable Beam of Monopole Antenna Based on Graphene Pads," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, DOI: 10.1002/mmce.22156, 2019.
- [25] D. Elsheakh and H. Shawkey, "5G Wideband on-chip dipole antenna for WSN soil moisture monitoring," *International Journal of Rf and Microwave Computer-aided Engineering*. DOI: 10.1002/mmce.22556, 2021.
- [26] M. K. Shereen, M. I. Khattak and G. Witjaksono, "A brief review of frequency, radiation pattern, polarization, and compound reconfigurable antennas for 5G applications," *Journal of Computational Electronics* 18: pp. 1065–1102, <https://doi.org/10.1007/s10825-019-01336-0>, 2019.
- [27] A. R. Gutiérrez, A. Reyna, L.I. Balderas, M. A. Panduro and A. L. Méndez, "Non-Uniform Antenna Array with Non-Symmetric Feeding Network for 5G Applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, pp.346-350, DOI 10.1109/LAWP.2021.3131437, 2022.





- [28] N. Shaik and P. K. Malik, "A comprehensive survey 5G wireless communication systems: open issues, research challenges, channel estimation, multi carrier modulation and 5G applications," *Multimedia Tools and Applications* 80, pp. 28789–28827, <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11128-z>, 2021.
- [29] Y. Cheng and Y. Dong, "Wideband circularly polarized planar antenna array for 5g millimeter-wave applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 69, no. 5, pp. 2615-2627, 2021.
- [30] F.B. Shiddanagouda, S. P. Teja, D. P. Saritha and A. Kumar, "Hexagonal Microstrip Patch Antenna for Bio-medical Applications," *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, Vol. No.5, Issue No.3 March 2017.
- [31] B. Hossain and F. Hossain, "Design of a Triple Band Rectangular Slot Microstrip Patch Antenna for Wireless Applications," *2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)*, DOI:10.1109/TENSYP50017.2020.9230997, 2020.
- [32] C. A. Balanis "Antenna Theory Analysis and Design," Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., Publication Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey USA. Published Simultaneously in Canada, 2005, pp. 846–847.
- [33] P. Srinivas, K. R. Kiran, D.S. Bidichandani, S.R. Guntupalli and K.N.V.S Kishore, "Improving the Bandwidth in the Design of Phased Array Antenna". *International Journal of Recent Scientific Research*, vol. 4, Issue, 3, pp. 304 -307, March, ISSN: 0976-3031, 2013.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Bozdağ Formasyonu (Ladik-Konya) Karbonatlarının Petrografik ve Jeokimyasal Özelliklerine Göre Diyajenetik Gelişimi

 Ali Müjdat ÖZKAN <sup>a,\*</sup>,  Adnan DÖYEN <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [amozkan@ktun.edu.tr](mailto:amozkan@ktun.edu.tr)  
DOI: 10.29130/dubited.1088300

### Öz

Bu çalışmada Konya kuzeybatısındaki Bozdağ Formasyonu (Silüriyen-Orta Devoniyen) karbonatlarının petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İnceleme alanında temeli oluşturan bu karbonatlar resifal karmaşık şeklinde gelişmiştir. Gri, krem renkli, orta-çok kalın tabakalanmalı bu karbonatlar, dolotaşı, kalsitik dolotaşı, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı şeklindedirler. Bu karbonatlar mikrofasiyes olarak, dolomiksparit, kristalin kireçtaşı, dolosparit ve vaketaşı, istifası özelliğindedir. Karbonatların Sr içeriği düşük olup (6-211 ppm) gömülme dolomitlerinin Sr değerleri ile tutarlıdır. Na içeriği de gömülme dolomitlerinin Na içeriği ile tutarlıdır (148-371 ppm). Bu karbonatların Fe (699-3287 ppm) ve Mn (0-232 ppm) içerikleri yüksek olup gömülme dolomitlerinin Fe ve Mn içeriği ile tutarlıdır. Çalışılan karbonatların majör ve iz element değerleri diyajenetik alterasyonu ve havzaya önemsiz miktarda terrijen girdisini işaret etmektedir. Bu karbonatların önemli bileşenini oluşturan dolotaşı örnekleri replase edilen kireçtaşları gibi, Kuzey Amerika Şeyl Kompozisyonuna göre nadir toprak elementlerince fakirdirler. Dolomitlerin nadir toprak element içeriği karbonat safhasıyla ilişkili olmayıp, detritik alumino-silikat ile demir bulunduran mineraller safhasıyla kontrol edilmiştir. Bozdağ dolomitlerinde gözlenen didolomitleşmenin sığ gömülme ortamında oksitleyici meteorik suların etkisiyle oluştuğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Didolomit, dolotaşı, gömülme, kireçtaşı, replasif

## Diagenetic Development of Bozdağ Formation (Ladik-Konya) Carbonates According to Petrographic and Geochemical Properties

### ABSTRACT

This study, it was aimed to determine the petrographic and geochemical properties of Silurian-Middle Devonian carbonates in the northwest of Konya. These carbonates, which form the basis of the study area, have developed as a reefal complex. These gray, cream-colored, medium to very thick-bedded carbonates are in the form of dolostone, calcitic dolostone, limestone, and dolomitic limestone. As microfacies, these carbonates are dolomiticspartite, crystalline limestone, dolosparite, wackestone, and packstone. The Sr content of the carbonates is low (6-211 ppm) and is consistent with the Sr values of the burial dolomites. The Na content (148-371 ppm) is also consistent with the Na content of the burial dolomites. The Fe (699-3287 ppm) and Mn (0-232 ppm) contents of these carbonates are high, consistent with the Fe and Mn contents of the burial dolomites. Major and trace element properties of the studied

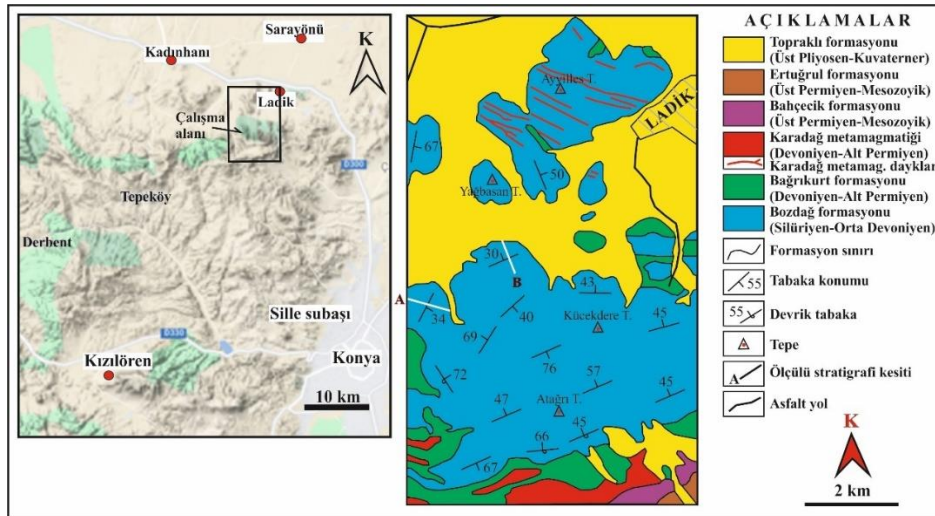
carbonates indicate diagenetic alteration and insignificant terrigenous input into the basin. Dolostone samples, which constitute the important component of these carbonates, show impoverishment by rare earth elements, like the replaced limestones. The rare earth element content of the dolomites was not related to the carbonate phase but was controlled by the detrital aluminosilicate (eg. clay minerals such as feldspar and kaolinite) and iron-containing minerals (eg. pyrite and possibly ankerite or siderite) phase. It was concluded that the dedolomitization observed in the Bozdağ dolomites was formed by the effect of oxidizing meteoric waters in the shallow burial environment.

**Keywords:** Dedolomite, dolostone, burial, limestone, replacement

## I. GİRİŞ

İnceleme alanı Konya'nın kuzeyinde Ladik ve çevresinde yaklaşık 60 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). İnceleme alanının genel jeolojik ve tektonik özellikleri Eren [1] tarafından yapılan çalışma kapsamında incelenmiştir. Ancak inceleme alanında bulunan Silüriyen-Orta Devoniyen karbonatlarının (Bozdağ formasyonu) sedimentolojik özellikleri detaylı olarak incelenmemiştir. Özkan [2] inceleme alanını da kapsayan daha geniş bir alanda yaptığı çalışmada, sadece dolotaşlarının sedimentolojik ve jeokimyasal özelliklerini çalışmıştır. Bu çalışmada Silüriyen-Orta Devoniyen yaşlı karbonatlarının sedimentolojik ve jeokimyasal özellikleri detaylı olarak çalışılmıştır.

İnceleme alanında temeli Silüriyen-Orta Devoniyen karbonatları (Bozdağ Formasyonu) oluşturur (Şekil 1). Bu karbonatların gri, krem renkli, orta-çok kalın tabakalanmalı, dolotaşı, kalsitik dolotaşı, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı şeklinde oldukları gözlenmiştir. Bu temel kayalar üzerine yanal ve düşey geçişli olarak, pre-fliş, fliş ve bloklu fliş türü kayalardan oluşan Devoniyen-Erken Permiyen yaşlı Bağrıkkurt formasyonu gelmektedir. Devoniyen-Erken Permiyen yaşlı Karadağ metamagmatikleri bu iki birime sokulum yaparak yerleşmiştir. Bu birimler üzerine alüvyal özellikteki Geç Permiyen-Mesozoyik yaşlı Bahçecik formasyonu uyumsuz olarak gelir. Bahçecik formasyonu üzerine yanal ve düşey geçişli olarak sığ denizel çökeller şeklinde Geç Permiyen-Mesozoyik yaşlı Ertuğrul formasyonu gelmektedir. Tüm bu birimler üzerine uyumsuz olarak Geç Pliyosen-Kuvaterner yaşlı alüvyal yelpaze ortamında gelişmiş Topraklı formasyonu gelmektedir (Şekil 1).



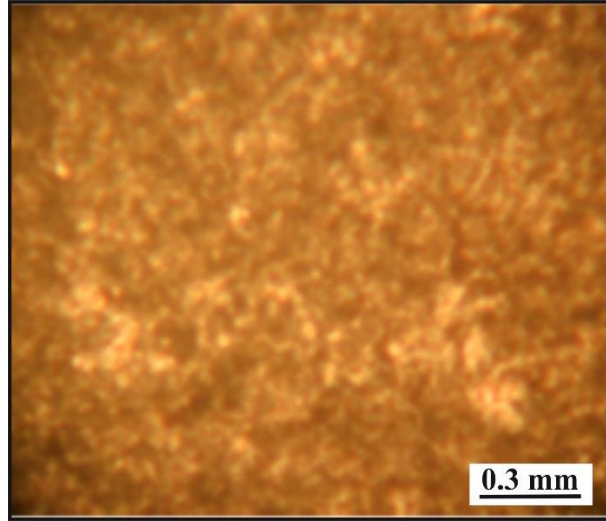
Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru ve jeoloji haritası [1]'den değiştirilerek

## **II. MATERYAL VE METOD**

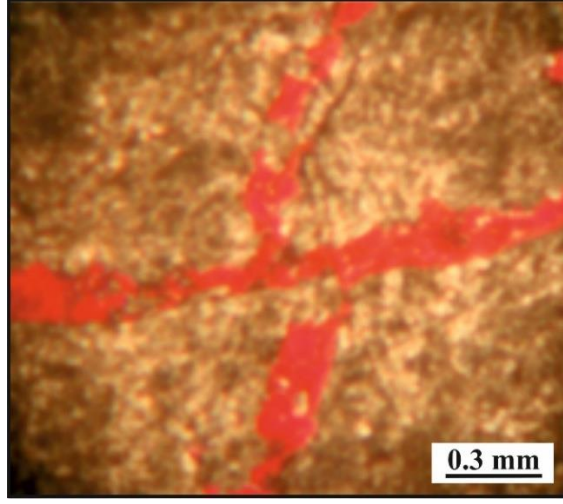
İnceleme alanının materyalini Silüriyen-Orta Devoniyen karbonatları oluşturmaktadır. Bu litolojilerden iki adet ölçülü stratigrafi kesiti alınarak, amaca uygun sayıda numuneler toplanmıştır. Toplanan numunelerden mikroskopik incelemeler için ince kesit hazırlanmıştır. Bu ince kesitlerde dolomit ve kalsit minerallerini ayırt etmek için alizarin kırmızısı boyama tekniği uygulanmıştır. Bu numuneler jeokimyasal (majör, iz ve nadir toprak element) analiz için Kanada'daki ACME Laboratuvarına gönderilmiş ve ICP-MS cihazında analizleri yaptırılmıştır. Analiz sonuçlarının limit altı değerleri (lad), bu çalışmada limit değerleri alınarak kullanılmıştır. Elementlerin limit değerleri, Si: 0.01, Al: 0.01, Fe: 0.04, Mg: 0.01, Ca: 0.01, Na: 0.01, K: 0.01, Ti: 0.01, P: 0.01, Mn: 0.01, Sr: 0.5, Ba: 1, Rb: 0.1, La: 0.1, Ce: 0.1, Pr: 0.02, Nd: 0.3, Sm: 0.05, Eu: 0.02, Gd: 0.05, Tb: 0.01, Dy: 0.05, Ho: 0.02, Er: 0.03, Tm: 0.01, Yb: 0.05, Lu: 0.01, LOI (ateş kaybı): -5.1 şeklindedir.

## **III. BULGULAR**

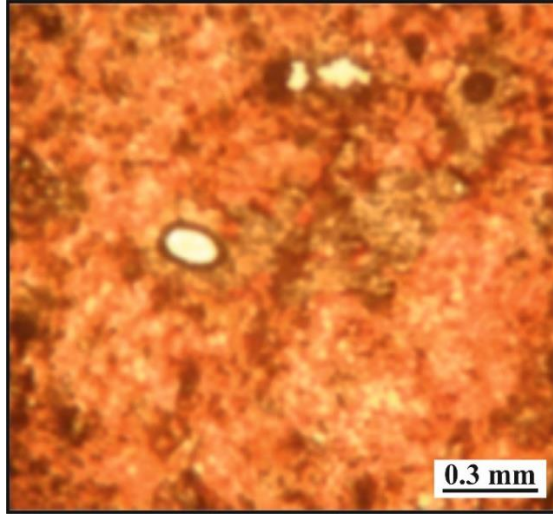
ÖSK-A'daki karbonatlar tabanda dolotaşı ve kireçtaşı ardalanmasıyla başlamakta, üste doğru dolotaşı, kalsitik dolotaşı ve dolomitik kireçtaşı ardalanmasıyla devam etmekte, üstte dolomitik kireçtaşı, kireçtaşı ve dolotaşı ardalanmasıyla devam edip en üstte kireçtaşı ile sonlanmaktadır. Petrografik inceleme sonucunda karbonatlar, dolomikspatit, dolospatit, dolomitik kireçtaşı, kalsitik dolotaşı, kristalin kireçtaşı ve vaketaşı-istiftaşı şeklinde gözlenmiş olup, karbonat kristaller özşekilli, yarı özşekilli ve özşekilsiz kristaller şeklindedirler. Dokusal olarak, iz şeklinde korunmuş fosilli dolomikrit (Şekil 2), dolomikrit ve sitilolitik didolomit (Şekil 3), dolomikspatit, biomold ve didolomit, iri kristalli, özşekilli-yarıözşekilli dolomit ve didolomitleşme, dolomikspatit, didolomit ve porozite, dolomitik kireçtaşında özşekilli-yarıözşekilli dolomit kristalleri (Şekil 4) ve ince kristalli dolomit, mikrosparit ile *Amphipora* sp. ince kristalli mikspatitte iz şeklinde korunmuş fosil, kristalin kireçtaşında ince dolomit kristalleri (Şekil 5) ve sitilolit boyunca gelişen dolomitleşme şeklinde oldukları gözlenmiştir.



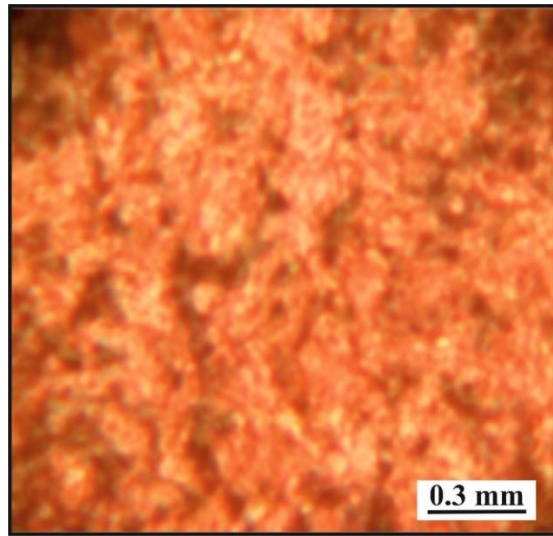
Şekil 2. İz şeklinde fosilli dolomikrit (T.N., Nu: A-1; dolotaşı)



*Şekil 3. Dolomikrit ve sferulitik didolomit (T.N., Nu: A-4; dolotaşı)*



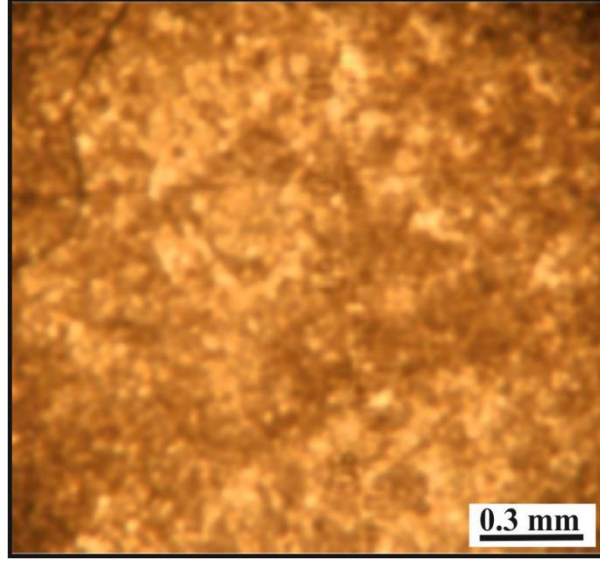
*Şekil 4. Sparikalsit ve dolomit kristalleri (T.N., Nu: A-88; dolomitik kireçtaşı)*



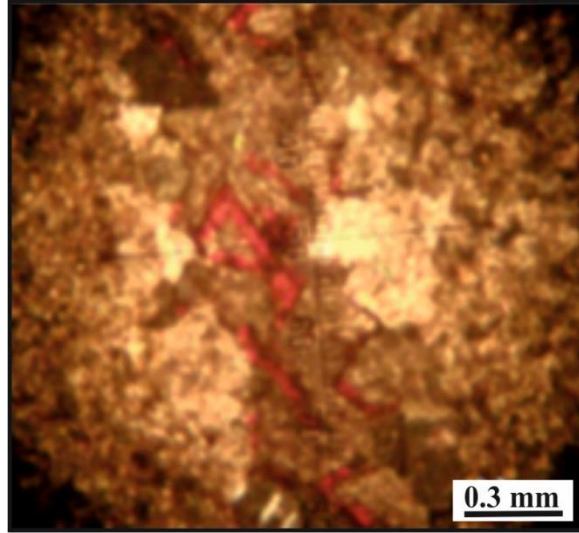
*Şekil 5. Kristalin kireçtaşı ve ince kristalli dolomit (T.N., Nu: A-5; kireçtaşı)*



ÖSK-B'deki karbonatlar tabanda kireçtaşıyla başlayıp dolotaşı ile devam eder, üste doğru dolomitik kireçtaşı–kireçtaşı ardalanması ve en üstte dolomitik kireçtaşıyla sonlanırlar. İnce kesitlerde mikrodan iriye değişen boyutlarda öz şekilli, yarı özşekilli-özşekilsiz dolomit kristalleri gözlenir. Karbonat örneklerinin petrografik incelenmesi sonucu dolomikspatit ve iz şeklinde *Amphipora* sp. (Şekil 6), özşekilli dolomit romboederleri, ksenotopik dolomit ve didolomitleşme (Şekil 7), dolomikspatit ve *Amphipora* sp. (Şekil 8), dolomikspatit ve didolomitleşmiş *Amphipora* sp. ve kristalin kireçtaşı (Şekil 9) şeklinde oldukları gözlenmiştir.

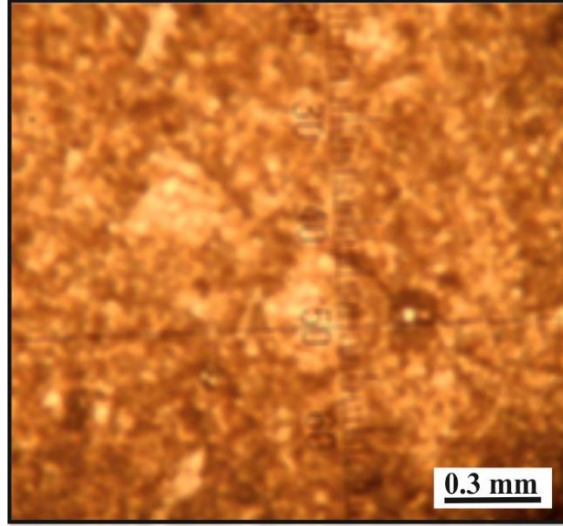


**Şekil 6.** Dolomikspatit ve iz şeklinde *Amphipora* sp. (T.N., Nu:D-8; dolotaşı)

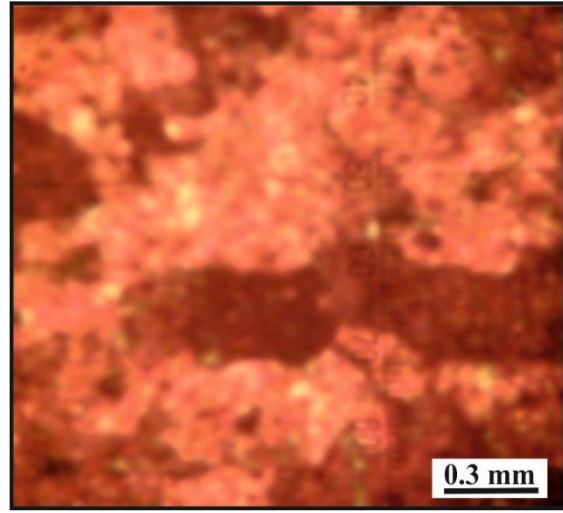


**Şekil 7.** Özşekilli dolomit romboederleri, ksenotopik dolomit ve didolomit (Ç.N., Nu: D-23; dolotaşı)

Dolomit (7 adet) ve kireçtaşı (3 adet) örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçları Tablo 1, 2 ve 3 verilmiştir. Bu analiz verilerine dayandırılarak majör, iz ve nadir toprak elementlerinin değerleri kullanılarak Silüriyen-Orta Devoniyen karbonatlarının diyajenetik gelişimi yorumlanmıştır.



Şekil 8. Dolomikspartit ve Amphipora sp. (T.N., Nu: D-23; dolotaşı)



Şekil 9. Kristalin kireçtaşı (Ç.N., Nu: D-109; kireçtaşı)

Tablo 1. Dolotaşı ve kireçtaşlarının majör element içerikleri (%) (lda: limit değer altı)

Örnek	A-22	A-78	*A-138	A-153	*A-188	B-4	B-8	B-11	B-17	*B-101
SiO <sub>2</sub>	0.36	0.34	0.19	0.52	0.17	0.30	0.23	0.16	0.14	0.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	0.15	0.04	0.26	0.05	0.15	0.10	0.07	0.04	0.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47	0.13	lda	0.16	0.10	0.20	0.19	0.10	0.14	0.23
MgO	21.1	20.8	0.64	20.9	0.41	21.4	21.1	21.3	21.5	0.44
CaO	30.1	30.6	56.1	30.7	55.3	30.8	30.8	30.5	30.6	55.6
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.05	lda	0.02	lda	0.02	0.03	0.03	0.03	lda
K <sub>2</sub> O	0.05	0.05	0.02	0.09	0.01	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
TiO <sub>2</sub>	lda	lda	lda	0.01	lda	lda	lda	lda	lda	lda
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda	0.02
MnO	0.03	lda	lda	lda	0.03	lda	lda	lda	lda	0.01
LOI	47.3	46.9	42.9	46.6	43.8	46.7	47.0	47.2	47.2	43.4

\*Kireçtaşı

**Tablo 2.** Dolotaşı ve kireçtaşlarının iz element içerikleri (ppm) (lda: limit değeri altı)

Örnek	A-22	A-78	*A-138	A-153	*A-188	B-4	B-8	B-11	B-17	*B-101
Sr	30	68	211	73	173	122	66	83	55	5.9
Ba	1	4	1	3	2	3	2	2	2	10
Rb	0.6	0.9	0.3	1.9	0.2	0.9	0.5	0.2	0.1	lda
Fe	3287	909	279	1119	699	1399	1329	699	979	1608
Mn	232	lda	lda	lda	232	lda	lda	lda	lda	77
Al	688	794	212	1376	264	794	529	370	212	106
Na	148	371		148		148	297	297	297	
Mn/Sr	7.7	1.1	0.4	1.1	1.3	0.6	1.2	0.9	1.4	12.8

\*Kireçtaşı

**Tablo 3.** Dolotaşı ve kireçtaşlarının nadir toprak element değerleri (ppm) (lda: limit değeri altı)

Örnek	A-22	A-78	*A-138	A-153	*A-88	B-4	B-8	B-11	B-17	*B-101
La	1.3	0.5	0.4	0.6	2.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3
Ce	2.8	1	0.8	1.2	3.1	0.5	0.4	0.3	0.3	0.5
Pr	0.32	0.09	0.05	0.15	0.32	0.06	0.04	lda	lda	0.04
Nd	1.5	lda	0.4	0.9	0.9	lda	lda	lda	lda	lda
Sm	0.23	0.07	0.08	0.09	0.18	lda	0.06	lda	lda	lda
Eu	0.04	lda	lda	lda	0.06	lda	lda	lda	lda	lda
Gd	0.26	0.09	lda	0.09	0.14	lda	lda	lda	lda	lda
Tb	0.03	lda	lda	lda	0.01	lda	lda	lda	lda	lda
Dy	0.17	lda	lda	0.08	lda	lda	lda	lda	lda	lda
Ho	0.02	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda
Er	0.1	lda	lda	0.05	0.04	lda	0.03	lda	lda	lda
Tm	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda
Yb	0.11	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda
Lu	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda	lda

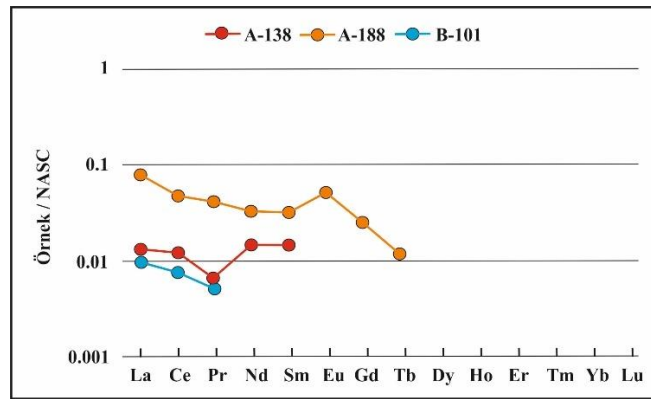
\*Kireçtaşı



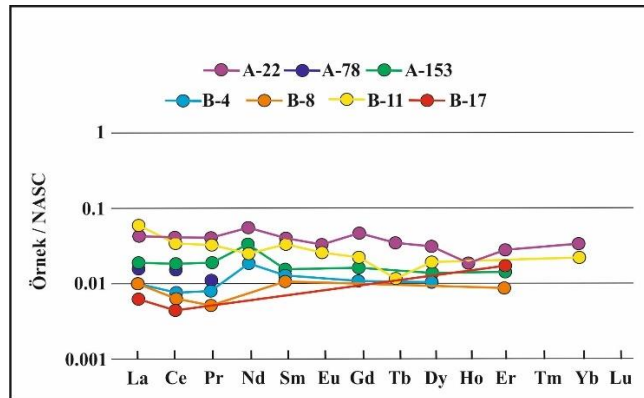
MgCO<sub>3</sub> içeriği ile CaCO<sub>3</sub> içeriği arasında güçlü bir pozitif (r=1) ilişki, SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> arasında güçlü bir pozitif (r=0.97) ilişki, Rb içeriği ile K<sub>2</sub>O arasında güçlü pozitif (r=0.97) bir ilişki, Mn ile Fe içeriği arasında orta pozitif (r=0.54) bir ilişki, Al ile Fe içeriği arasında çok zayıf negatif (0.16) bir ilişki, Sr ile CaCO<sub>3</sub> içeriği arasında orta pozitif (r=0.51) bir ilişki, Sr ile MgCO<sub>3</sub> içeriği arasında orta pozitif (r=0.51) bir ilişki, Sr ile Mn içeriği arasında zayıf negatif (r=0.38) bir ilişki, Sr ile Fe içeriği arasında orta negatif (r=0.61) bir ilişki, Fe ile MgCO<sub>3</sub> içeriği arasında zayıf negatif (r=0.39) bir ilişki, Fe ile CaCO<sub>3</sub> içeriği arasında zayıf negatif (r=0.39) bir ilişki gözlenmektedir.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ΣREE grafiği karşılaştırılması çok zayıf pozitif (r=0.17) bir ilişki, ΣREE konsantrasyonlarına karşı SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konsantrasyonlarının karşılaştırılması güçlü pozitif (sırasıyla r=0.84 ve r=0.80) bir ilişki, ΣREE konsantrasyonlarına karşı MgO ve CaO konsantrasyonlarının karşılaştırılması zayıf da olsa negatif (sırasıyla r=0.06 ve r=0.36) bir ilişki, ΣREE konsantrasyonlarına karşı Na<sub>2</sub>O konsantrasyonlarının karşılaştırılması zayıf negatif (r=0.47) bir ilişki, ΣREE konsantrasyonlarına karşı K<sub>2</sub>O ve TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının karşılaştırılması güçlü pozitif (sırasıyla r=0.81 ve r=0.70) bir ilişki, ΣREE konsantrasyonlarına karşı P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> konsantrasyonlarının karşılaştırılması zayıf da olsa pozitif (r=0.29) bir ilişki sergilemektedir.

Çalışılan karbonatlarındaki hem dolotaşı hem de kireçtaşı örnekleri, nadir toprak elementlerince fakirleşmeyi gösterir (Şekil 10 ve 11).



Şekil 10. Çalışılan kireçtaşlarının Kuzey Amerika Şeyl Kompozisyonuna [3] göre normalize edilmiş nadir toprak element dağılımı



Şekil 11. Çalışılan dolomitlerin Kuzey Amerika Şeyl Kompozisyonuna [3] göre normalize edilmiş nadir toprak element dağılımı

## IV. TARTIŞMA

Ünimodal, çok ince-ince kristalin planar-s (subhedral) dolomitler; küçük kristal boyutları (<60 µm) sınırlı subtidal ile supratidal ortamları gösterir [4]. İnce kristal boyu erken diyajenetik dolomit ya da eş zamanlı neomorfizmanın ya da orijinal peritidal karbonat çamurtaşlarının erken replasesiyle sonuçlanabilir [4,5]. Kristal boyu iki işlevin oran ilişkisiyle kontrol edilir; çekirdekleşme ve büyüme oranı [4,6]. Bozdağ karbonatlarındaki ince kristalli dolomitlerin resifal kompleksin lagün ve resif çatısının boşlukları gibi ortamlarda depolanan mikritik kireçtaşlarının sık gömülme ortamında erken diyajenetik replasesiyle oluştuğu şeklinde yorumlanmıştır.

Orta-iri kristalin planar-s mozayik dolomitler; orta-geç diyajenetik replase dolomiti ifade ettiği şeklinde yorumlanmıştır. Orijinal depolanma dokuların korunması ve iri kristal boyu majör, muhtemelen uzun süreli dolomitizasyon olayını önermektedir [4]. Bu tip dolomitler Lee ve Friedman [7] çalışmalarında geç gömülme orijinali olarak yorumlanmıştır [4]. Birincil sedimanter fabriğin iz (ghost) gibi korunması dolomit gelişiminin hacimsel oranının, kalsit çözünmesinin hacimsel oranı ile eşit olmasını gerektirmektedir [4]. Bozdağ karbonatlarındaki orta-iri kristalin planar-s dolomitlerin orta-derin gömülme ortamında geç diyajenetik olarak oluştuğunu söyleyebilmekteyiz.

Orta-iri kristalin planar-e (öhedral) mozayik dolomitler; çoğu zaman dolomitleşme öncesi dokunun delili olarak verilmiştir. Zira bireysel mozayiklerdeki kristal boyu ünimodaldır ve dolomit için çekirdekleşme alanlarının homojen olarak dağıldığı düşünülebilir [4,8]. Bozdağ karbonatlarındaki özşekilli dolomitler de eş zamanlı gelişen geç diyajenetik dolomitler şeklinde oluşmuşlardır.

Folk [9] iz (ghost) çökeltme dokulu iri kristalin kompozit dolomitlerin çok büyük derinliğe gömülen kireçtaşlarının ornatılmasından sonuçlandığını önermiştir. Bozdağ karbonatlarında gözlenen iz dokulu dolomitler de derin gömülme ortamında geç diyajenetik olarak gelişmiş olmalıdır.

Bozdağ dolomitlerinde gözlenen CaCO<sub>3</sub> ile MgCO<sub>3</sub> arasındaki pozitif korelasyon evaporitif suların gelişen dolomitleşmeyi ifade etmektedir. Ca'ca zengin non-stoikiyometrik dolomit genellikle dolomitleşmiş solusyonun Mg/Ca oranının ve dolomitleşme esnasındaki sıvı/kaya oranının bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir [10]. Bu oranların düşmesiyle Ca'ca zengin non-stoikiyometrik dolomit oluşur [10]. Kalsiyum dolomitlerin varlığı, düşük Mg/Ca oranıyla ilişki bir solüsyondan oluşumu gösterir [10]. Bozdağ dolomitlerindeki Mg/Ca oranı 0.6 olup, havzasal tuzlu formasyon sularına atfedilen non-stoikiyometrik kalsiyumca zengin dolomitleri işaret eder ve gömülme esnasında artan sıcaklıkla formasyon sularının kalsiyumca zenginleşirken magnezyumca fakirleşmesini belirtir.

Fe<sup>+2</sup> ve Mn<sup>+2</sup>'nin indirgen formları karbonat minerallerinde bulunmaktadır; bu yüzden Fe ve Mn konsantrasyonlarındaki artma karbonatların indirgen şartlar altında çökeldiğini ifade eder [11,12]. İndirgen şartlar, artan gömülme derinliğiyle artar [12]. Bozdağ karbonatlarındaki Fe ve Mn konsantrasyonlarındaki artış da indirgen şartlardaki gömülmeyi vurgular. Barnaby ve Read [13], Fe ve Mn arasındaki pozitif korelasyonun gömülme dolomitlerinde yaygın olarak gözlenen bir özellik olduğunu belirtmiştir. Bozdağ dolomitlerinde gözlenen Fe ve Mn arasındaki pozitif korelasyonda gömülme dolomitleşmesini işaret etmektedir.

Moss ve Tucker [14] güneydoğu Fransa Kretase yaşlı sık gömülme dolomitlerinin düşük Sr (ortalama 127 ppm) konsantrasyonlarının düşük stronsiyumlu stabilize denizel karbonatların replasesi ya da dolomitlerin daha sonraki kristalizasyonu nedeniyle olabileceğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla Bozdağ dolomitlerindeki düşük Sr (6-211 ppm, ortalama 88 ppm) konsantrasyonunun da gömülme rekristalizasyonu sonucu geliştiğini ifade edebiliriz.

Rao [15] güncel dolomitlerdeki Na içeriğinin 100-2500 ppm arasında değiştiğini; karışım zonu dolomitlerinin düşük değerleri, hipersalin dolomitlerin yüksek değerleri kapsadığını belirtmiştir. Bozdağ dolomitlerinin Na içeriği (148-371 ppm, ortalama 227 ppm) de önemli evaporasyon etkisinin olmadığı, gömülme ortamındaki yüksek sıcaklıklarda değişmiş deniz suyundan oluşumu işaret etmektedir.

Denizel sedimentlerdeki Fe/Al oranı kaynak kayanın jeokimyasına ve biyojenik fraksiyon ile ilişkili terrijen malzemenin toplam miktarıyla etkilenen Fe ve Al'un mutlak değerlerine bağlıdır [16]. Bozdağ dolomitlerindeki Fe ile Al arasında zayıf da olsa negatif korelasyon gözlenmesi dolomitleşmenin indirgen ortamda geliştiğini belirtir. Dolayısıyla bu durum Bozdağ karbonatlarında terrijen malzeme girdisinin az olduğunu da ifade etmektedir. Bozdağ formasyonu dolomitlerindeki SiO<sub>2</sub> ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> arasında güçlü bir pozitif korelasyon gözlenmesi, denizel karbonatlar ile kil minerallerinin değişken miktarda karışımını göstermektedir. Dolayısıyla Bozdağ karbonatlarının çökelişi esnasında havzaya kil girdisini işaret etmektedir.

Bozdağ karbonatlarındaki Rb ile K<sub>2</sub>O arasında gözlenen güçlü pozitif korelasyon, karbonatlar içerisindeki killerin denizel orijinli olduğunu ifade etmektedir [17]. Dolayısıyla bu özellik Bozdağ karbonatlarının denizel orijinli olduğunu desteklemektedir.

B-101 kireçtaşı örneğindeki baryumun diğer örneklerle göre çok yüksek degree ulaşması, telodiyajenez sürecindeki meteorik suların etkisiyle gerçekleşmiş olmalıdır, çünkü tatlı sular tuzlu sulardan çok daha yüksek değerlerde Ba içerirler.

Bozdağ karbonatlarındaki Mn/Sr oranlarının (0.4-12.8) iki örnekte yüksek (>3) olması önemli diyajenetik alterasyonu gösterirken, 8 örnekte düşük (<3) olması da diyajenetik alterasyonun önemsiz derecede olduğunu göstermektedir (Tablo 2).

Didolomitleşme, Canaveras ve ark. [18] yaptıkları çalışmada vurguladıkları gibi, sığ gömülme derinliklerinde ve oksitleyici meteorik yeraltı suları tarafından oluşturulmuştur. Bozdağ dolomitlerinde gözlenen didolomitleşmenin de sığ gömülme ortamında oksitleyici meteorik suların etkisiyle telodiyajenez esnasında oluştuğu sonucuna varılmıştır.

## **V. SONUÇ**

Bozdağ karbonatlarında gözlenen kirli çekirdekli, temiz kenarlı, orta-iri kristalli replasif dolomit romboederleri geç gömülme orijinli olarak gelişmiştir.

Bozdağ dolotaşı örnekleri replase edilen kireçtaşları gibi, nadir toprak elementlerince fakirleşmeyi gösterir ve nadir toprak element içeriği karbonat safhasıyla ilişkili olmayıp, detritik alumino-silikat (feldispat ve kaolinit gibi kil mineralleri) ile demir bulduran mineraller (pirit ve muhtemelen ankerit ya da siderit gibi) safhasıyla kontrol edilmiştir.

Bozdağ dolotaşları, resifal kompleks şeklinde gelişen kireçtaşlarının büyük oranda geç diyajenetik olarak, kısmen evaporitif ve bir miktar meteorik su katkısı olan değişmiş deniz suyundan, orta-derin gömülme ortamında yüksek sıcaklıktaki dolomitleşmeyi, az olarak da sığ gömülmeli erken diyajenetik dolomitleşmeyi işaret etmektedir.

Bozdağ formasyonunun majör ve iz element özellikleri diyajenetik alterasyonu ve önemsiz miktarda terrijen katkısını ifade etmektedir.

Bozdağ dolotaşlarında gelişen didolomitleşmenin telodiyajenez esnasında, sığ gömülme ortamında oksitleyici meteorik suların etkisiyle oluştuğu düşünülmüştür.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 11201124).

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] Y. Eren, "Ilgın-Sarayönü (Konya) güneyinde Bozdağlar masifinin stratigrafisi ve jeoloji evrimi," *KTÜ Jeoloji Müh. Böl. 30. Yıl Sempozyumu Bildirileri*, S. Korkmaz ve M. Akçay (ed.), Trabzon, Türkiye, 1996, ss. 694-707.
- [2] A. M. Özkan, "Söğütözü-Ladik (Konya) çevresindeki Bozdağ formasyonu (Silüriyen-Alt Karbonifer) dolomitlerinin sedimantolojik ve jeokimyasal incelenmesi" *SÜ BAP Koordinatörlüğü, proje no: 11201124*, s. 125, 2016.
- [3] L. P. Gromet, R. F. Dymek, L. A. Haskin, and R. L. Korotev, "The north American shale composite: its compilation, major and trace element characteristics," *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 48, pp. 2469-2482, 1984.
- [4] J. E. Amthor, and G. M. Friedman, "Dolomite-rocks textures and secondary porosity development in Ellenburger group carbonates (Lower Ordovician), west Texas and southeastern New Mexico," *Sedimentology*, vol. 38, pp. 343-362, 1991.
- [5] D. H. Zenger, "Burial dolomitization in the Lost Burro formation (Devonian), east-central California, and the significance of late diagenetic dolomitization," *Geology*, vol. 11, pp. 519-522, 1983.
- [6] A. Spry, "Metamorphic textures", *Pergamon Press*, Oxford, USA, 1969.
- [7] Y. I. Lee, and G. M. Friedman, "Deep-burial dolomitization in the Lower Ordovician Ellenburger group carbonates in west Texas and southeastern New Mexico," *Jour. Sedim. Petrol.*, vol. 57, pp. 544-557, 1987.
- [8] D. F. Sibley, "The origin of common dolomite fabrics, clues from the Pliocene," *Jour. Sedim. Petrol.*, vol. 52, pp. 1087-1100, 1982.
- [9] R. L. Folk, "Thin-section examination of pre-simpson Paleozoic rocks. In: stratigraphy of the pre-simpson Paleozoic subsurface rocks of Texas and southeast New Mexico, V. E. Barnes, P. E. Cloud, Jr, L. P. Dixon, R. L. Folk, E. C. Jonas, A. R. Palmer and E. J. Tynan (eds.), University of Texas," *Bur.Econ. Geol. Publ.*, vol. 5924, pp. 95-130, 1959.
- [10] M. Z. Kırmacı, and K. Akdağ, "Origin of dolomite in the Late Cretaceous-Paleocene limestone turbidites, eastern Pontides, Turkey," *Sedimentary Geology*, vol. 181, pp. 39-57, 2005.
- [11] L. S. Land, "The origin of massive dolomite," *Jour. Geol. Educ.*, vol. 33, pp. 112-125, 1986.
- [12] M. H. Adabi, "Multistage dolomitization of Upper Jurassic Mozduran formation, Kopet-Dagh basin, N.E. Iran," *Carbonates and Evaporites*, vol. 24, no. 1, pp. 16-32, 2009.
- [13] G. J. Barnaby, and J. F. Read, "Dolomitization of a carbonate platform during late burial: Lower to Middle Cambrian shady dolomite, Virginia Appalachians," *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 62, no. 6, pp. 1023-1043, 1992.
- [14] S. Moss, and M. E. Tucker, "Diagenesis of Barremian-Aptian platform carbonates (the Urgonian limestone formation of SE France): near-surface and shallow-burial diagenesis," *Sedimentology*, Vol. 42, no. 6, pp. 853-874, 1995.
- [15] C. P. Rao, "Elemental composition of marine calcite modern temperate shelf branchipods, bryozoance and bulk carbonates, eastern Tasmania, Australia," *Carbonates and Evaporites*, vol. 11, pp. 1-18, 1996.

- [16] F. Lamy, J. Klump, D. Hebbeln, and G. Wefer, "Late Quaternary rapid climate change in northern Chile," *Terra Nova*, vol. 12, no. 1, pp. 8-13, 2000.
- [17] C. P. Rao, "Geochemistry of the Gordon limestone (Ordovician), Mole Creek, Tasmania," *Australian Jour. Earth Sci.*, vol. 36, pp. 65-71, 1989.
- [18] J. C. Canaveras, S. Sanchez-Moral, J. P. Calvo, M. Hoyos, and S. Ordonez, "Dedolomites associated with karstification. An example of early dedolomitization in lacustrine sequences from the Tertiary Madrid basin, central Spain," *Carbonates and Evaporites*, vol. 11, no. 1, pp. 85-103, 1996.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## A Study on Object Detection and Tracking of a Mobile Robot Using $CIE L^*a^*b^*$ Color Space

 Gokhan ATALI <sup>a,\*</sup>,  Meltem EYUBOGLU <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Technology, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, TURKEY

\* Corresponding author e-mail: [gatali@subu.edu.tr](mailto:gatali@subu.edu.tr)

DOI: 10.29130/dubited.1109850

### ABSTRACT

Autonomous vehicles are increasingly used in daily life and industrial applications. Mobile robot technologies lead to autonomous architectures in these areas. The path planning methods of mobile robots contain differences in the purpose they realize. This trajectory planning from a determined starting point to the target point brings many techniques from image processing to artificial intelligence. In the study, an application with a unique design has been carried out on the tracking of circular objects with different diameters and colors by a mobile robot. Moving object is detected with  $CIE L^*a^*b^*$  color space with RGB-D camera by utilizing the ROS server-client architecture. The mobile robot tracks the detected object at a certain distance at a constant speed. Image filtering parameters are processed by the mobile robot in the Matlab environment together with the publisher-subscriber parameters. Thus, two circular objects with different colors, detected because of image processing and determined beforehand, are continuously followed by the mobile robot at a certain speed. Experiments were carried out using different diameter, size tolerance and color parameters in the image depending on the  $CIE L^*a^*b^*$  color space.

**Keywords:** ROS, Image Processing, Object Tracking, Mobile Robot, Moving Object Detection

## $CIE L^*a^*b^*$ Renk Uzayı Kullanan Mobil Robotun Nesne Algılama ve Takibi Üzerine Bir Çalışma

### Öz

Otonom araçlar günlük yaşamda ve endüstriyel uygulamalarda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Mobil robot teknolojileri bu alanlarda otonom mimarilere öncülük etmektedir. Mobil robotların yol planlama yöntemleri, gerçekleştirdikleri amaca yönelik farklılıklar içermektedir. Belirlenen bir başlangıç noktasından hedef noktaya kadar olan bu yörünge planlaması temelde görüntü işlemeden yapay zekaya kadar birçok tekniği beraberinde getirmektedir. Çalışmada, farklı çap ve renklerde dairesel nesnelerin mobil bir robot tarafından takibi konusunda özgün tasarımı bir uygulama gerçekleştirilmiştir. ROS sunucu-istemci mimarisi kullanılarak RGB-D kamera ile  $CIE L^*a^*b^*$  renk uzayı ile hareketli nesne algılanır. Mobil robot, algılanan nesneyi belirli bir mesafede sabit bir hızla takip eder. Görüntü filtreleme parametreleri, yayıncı abone parametreleri ile Matlab ortamında mobil robot tarafından işlenir. Böylece görüntü işleme sonucunda algılanan ve önceden belirlenen farklı renklerde iki dairesel nesne, mobil robot tarafından belirli bir hızda sürekli olarak takip edilmektedir.  $CIE L^*a^*b^*$  renk uzayına bağlı olarak görüntüde farklı çap, boyut toleransı ve renk parametreleri kullanılarak deneyler yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** ROS, Görüntü İşleme, Nesne Takibi, Mobil Robot, Hareketli Nesne Algılama

# **I. INTRODUCTION**

Detection of moving objects or people has been a highly studied subject in the field of image processing. Although this issue is basically done using static libraries, it is also enriched with new-generation solutions with developing algorithms and AI technologies. The item whose movement is to be perceived can be an object or a person. There are various methodologies for both of them in the literature.

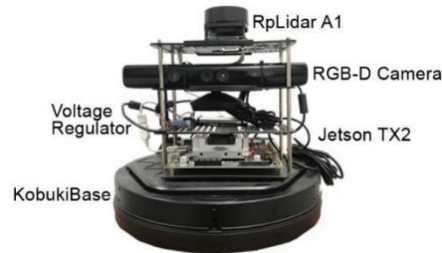
Munoz-Salinas et al. developed a system that can visually detect and monitor more than one person by using a stereo camera fixed on a system at the under-head position. The researchers performed a person tracking by combining information about each person's skin color model and estimated location by using the Kalman Filter. Thus, the processing time and errors in the tracking system that occur using only location information were greatly reduced. The researchers also added the ability to transfer people who were not predefined in the image. In this way, the system can continue to monitor the people it detects while searching for more people. [1]. Treptow et al. proposed a visual-based approach to track people with a mobile robot using thermal imagery. In the study, researchers used two fast alternative methods based on particle filters [2]. In their study, Munaro et al. presented a multi-person tracking algorithm that can perform fast analysis for ROS-based mobile robots with RGB-D sensors. The proposed algorithm includes a depth-based method specially designed to detect people in clustered human populations [3]. Martin et al. introduced a human detection and tracking system by developing a probability-based algorithm with many functions using different sensory systems of their mobile interaction robot with HOROS [4]. Joshi and Thakore studied the detection of moving objects in a video surveillance system and then tracked the objects detected on the stage. They have used various methods such as Eigen background determination, statistical, alpha, and temporary contour difference methods to detect the moving object [5]. Luo et al. presented a data fusion modeling methodology to detect and track people. The researchers used Jacobian transformations during the action planning phase and obtained their results practically in their studies [6]. Jung and Sukhatme studied a powerful real-time software capable of detecting objects in outdoor environments with a single camera, and in their study, they predicted the positions of moving objects using an adaptive particle filter and Expectation-Maximization algorithm [7]. Markovic et al. developed a new method based on the unit sphere for detecting, tracking, and following objects with a 360° camera they placed on the mobile robot. In addition, the researchers used odometry-based displacement information and a spherical projection model in their studies [8]. Yokoyama and Poggio have applied the detection and tracking of objects in a study using two different methods, gradient-based optical, flow, and edge detection, using lines they detected [9]. Wu and Sun proposed a filter-based algorithm extended with covariance to solve the problem of object tracking motion in an unknown environment [10]. Badar et al. present approach to identify the target person in a crowded environment and Bellotto and Hu sought a solution to the human tracking problem with a mobile robot using sensor data fusion techniques [11, 12]. Zou and Ge have proposed two new algorithms. They have extracted the color image by using CIE Lab Space. Then they have proposed a comparison method through the collection of two image samples. Researchers have recommended their work for apple picking processes [13]. In recent years, the subject of object detection and tracking continues to be studied using deep learning, fuzzy logic, evolutionary algorithms, and hybrid algorithms [14, 15, 16, 17].

When the studies in the literature are examined, it is seen that traditional color spaces are widely used for the detection of moving objects. However, it was emphasized in the study that there was a lot of noise on the image, especially in the studies have been carried out in the HSV color space. In this context, the manipulation of a differential mobile robot working based on ROS by *CIE L\*a\*b\** color space has been presented with experimental studies.

## II. MATERIAL and METHOD

### **A. ROS OPERATING SYSTEM and MOBILE ROBOT**

ROS (Robot Operating System) is a robot operating system commonly used in experimental and industrial areas worldwide. It is specially designed for robotic platforms and provides many robotic tools, hardware simulation, and message transfer between various software nodes. Nodes in this operating system working with broadcast topology can operate independently or with one-to-many subscriber models. It also supports many network protocols such as TCP/IP and SSH.

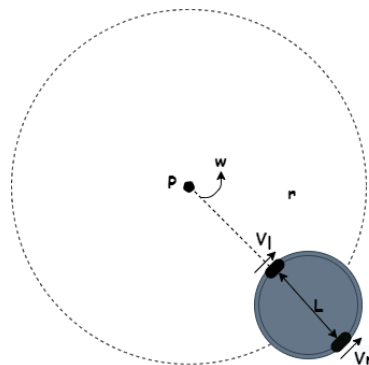


*Figure 1. Mobile robot platform used in the study*

In the study, a uniquely designed hardware system was created on the Kobuki robot platform to apply the software developed for the ROS operating system (Fig. 1). Real-time data obtained from the RGB-D camera attached to the robot platform was transferred to the motor drive unit via ROS nodes and object tracking was performed. For the object to be tracked from a certain distance at a constant speed, the ROS master publishes to speed nodes.

### **B. KINEMATIC MODEL**

The mobility of mobile robot platforms is of great importance in limited working areas. The energy need of the robot can be determined by performing the necessary kinematic and dynamic analysis. The motion of the mechanical system is analyzed by getting the kinematic model of the mobile robot and ignoring the forces affecting the motion.



*Figure 2. Kinematic position model of the mobile robot*

The linear speed of each differential wheel affects the rotation of the mobile robot around the point shown in Fig. 2. Therefore, the linear speed of each wheel is calculated and averaged to calculate the linear speed of a mobile robot rotating around the P point shown in Fig. 2. Consequently, the equations given in Eq. 1 are used to calculate the average linear velocity. In addition, the angular velocity equation



given in Eq. 2 can be formed with the linear speeds of the wheels. The Eq. 1 and Eq. 2 of the kinematic model of the robot are given in Table 1.

$$v = \frac{v_r + v_l}{2} = r \frac{(\varphi_r + \varphi_l)}{2} \quad (1)$$

$$\omega = \frac{v_r - v_l}{2L} = r \frac{(\varphi_r - \varphi_l)}{2} \quad (2)$$

**Table 1.** Table of abbreviations for the robot's kinematic model

Symbol	Quantity	SI
$v$	Linear speed of the robot	m/s
$\omega$	Angular velocity of the robot	rad
$v_r$	Linear speed of the right wheel	m/s
$v_l$	Linear speed of the left wheel	m/s
$\varphi_r$	Angular velocity of the right wheel	rad
$\varphi_l$	Angular velocity of the left wheel	rad
$r$	The radius of the center of rotation	m
$L$	Distance between right and left wheel	m
$\theta$	Direction angle of the robot	rad
$q$	State matrix of the robot in the basic frame	m/s
$T$	Rotation matrix	-

Here, the base state matrix of the mobile robot in the base frame is given in Eq. 3 and the rotation matrix expressing the orientation of the base frame related to the motion is given in Eq. 4.

$$q = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

The kinematic model of the robot frame is given in Eq. 5 by using the matrices given in Eq. 3 and 4.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & 0 \\ -L & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_r \\ \varphi_l \end{bmatrix} \quad (5)$$

### C. DYNAMIC MODEL

The dynamic model of the mobile robot platform with differential wheels is created by the Newton-Euler method. During the motion of the robot platform, a force acts on the front and back casters in the opposite direction of the movement. However, it is not taken into consideration as it has a very small effect. The forces acting on the mobile robot platform are shown in the force diagram in Fig. 3.

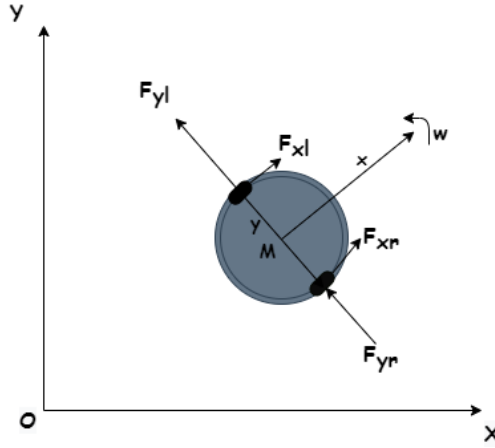


Figure 3. Force diagram of a mobile robot

Equations of motion for the x and y coordinates giving the connection between the velocity and coordinates required for the mobile robot are expressed in Eq. 6. The abbreviations expressing the dynamic model of the robot are given in Table 2.

$$\begin{cases} \dot{X} = v_x \cos \theta - v_y \sin \theta \\ \dot{Y} = v_x \sin \theta + v_y \cos \theta \end{cases} \quad (6)$$

Table 2. Table of abbreviations for the dynamic model of the robot

Symbol	Quantity	SI
$v$	Longitudinal Velocity Vector	m/s
$\omega$	Lateral Velocity Vector	m/s
$\theta$	Heading Angle	rad

A function of lateral velocity, longitudinal velocity, and heading angle velocity is shown in Eq. 7.

$$\dot{v}_y = f(v_x, \omega) \quad (7)$$

The dynamic model of the mobile robot is given in the equations in Eq. 8, since the robot may have a deviation from the longitudinal motion vector as it may be  $\dot{\theta} = \omega$  considering the differences that may occur in wheel heading angles.

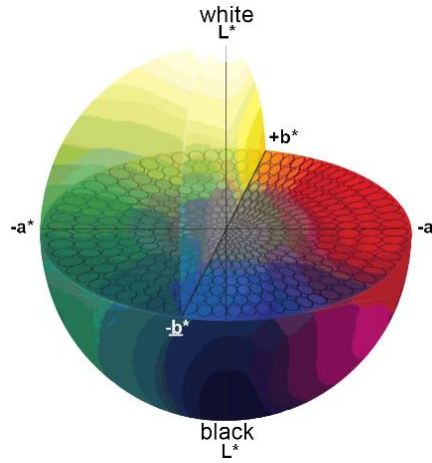
$$\begin{cases} \dot{X} = v_x \cos \theta - v_y \sin \theta \\ \dot{Y} = v_x \sin \theta + v_y \cos \theta \\ \dot{\theta} = \omega \\ \dot{v}_y = f(v_x, \omega) \end{cases} \quad (8)$$

#### D. OBJECT DETECTION COLOR SPACE

There are different color space modes to detect the objects by separating them from their environment. One of the most widely used color spaces of these modes is  $CIE L^*a^*b^*$ . When the studies using this color space were analyzed, it was seen that various algorithms were developed especially for color image segmentation [17,18]. This color space is widely used to distinguish the object that needs to be detected from other images outside the object [19, 20, 21, 22].

The object with the desired color and tone can be separated from other objects in the environment by using these separation modes in gray or RGB tones. In this study,  $CIE L^*a^*b^*$  color space that shows smooth changes in detection and is successful in removing artifacts in the images was used. This color

space, in which all colors perceived by the human eye are defined, is used as a standard color space for various areas. The 3-dimensional color coordinates in the  $CIE L^*a^*b^*$  color space are given in Fig. 4.



**Figure 4.**  $CIE L^*a^*b^*$  color space

$L^*$  - Lightness coordinate: It indicates the lightness from 0 (black) to 100 (white)

$a^*$  - The coordinate from green to red:  $-a^*$  represents green  $+a^*$  represents red

$b^*$  - The coordinate from blue to yellow:  $-b^*$  represents blue  $+b^*$  represents yellow

The forward transformation of the  $CIE L^*a^*b^*$  color space is given in Eq. 9, 10 and 11. Here  $X_n, Y_n$  and  $Z_n$  are the CIE XYZ tristimulus values of the reference white point.

$$L^* = 116 f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \quad (9)$$

$$a^* = 500 \left( f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right) \quad (10)$$

$$b^* = 200 \left( f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right) \quad (11)$$

The red circle in the image taken from the RGB-D camera on the robot is detected in the  $CIE L^*a^*b^*$  color space and taken into the contour as shown in Fig. 5. The mobile robot platform performs a movement action using the diameter information of this perceived red circle.



(a)



(b)

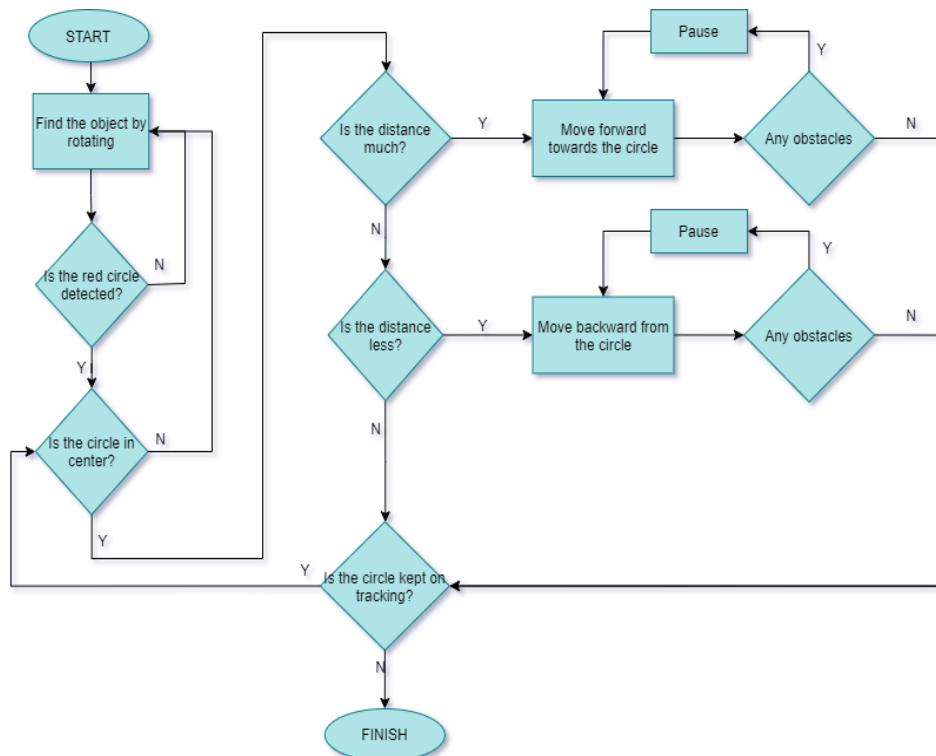
**Figure 5.** Object detection using  $CIE L^*a^*b^*$  (a) 1.5m (b) 4m

### III. EXPERIMENTAL STUDY

#### A. ACTION PARAMETERS

In the image-based robotic application performed in the study, there are two basic actions while tracking a 165 mm diameter red circle. The first action is detecting the moving object and the second one is tracking it at a determined constant speed at a certain distance. In the study conducted based on the client-server architecture, ROS commands are published using Matlab Robotics System Toolbox over the host computer (Master Station). These ROS commands, which are published wirelessly, are subscribed and processed by the mobile robot platform originally developed in the study. Then, the detection and tracking of the moving object is carried out using the algorithm specified in Fig. 2. The nodes used by the ROS master while performing these two actions are as follows;

- /mobile\_base/commands/sound
- /mobile\_base/commands/velocity
- /camera/rgb/image\_raw
- /mobile\_base/events/bumper
- /mobile\_base/events/cliff
- /odom
- /rosout



*Figure 6. Moving object detection and tracking flowchart*

The ROS node “/camera/rgb/image\_raw” is subscribed with the algorithm tested and regular images are obtained from the RGB-D camera located on the original robot platform. The captured image is processed in the Matlab software in the master station and then velocity commands are sent to the mobile robot platform by the master station with the “mobile\_base/commands/velocity” node publish. These operations are carried out according to the flow chart shown in Fig. 6. As it can be seen in this flow chart, first the robot platform rotates and receives images from the RGB-D camera continuously and then processes the data in these images and checks whether an object is present. This process continues

until the object is detected. After the object is detected, the image center and the object are positioned on top of each other. Then, the distance of the robot to this object is determined according to the diameter of the detected circle. If it is not at the desired distance, the distance between the robot and the object is tried to be fixed by giving forward or backward speed. If an obstacle is detected between the object and the mobile robot platform, the mobile robot waits until the obstacle is removed. After the obstacle is removed, the object is detected and the circle is centered with right and left movements, and the circle is followed by giving forward and backward speed. This loop is run continuously until the tracking process is complete. The pseudo-code obtained for the mobile robot according to this working principle was created as in Table 3.

*Table 3. Pseudo code*

---

```

Start
Connect to robot with IP address
Determine the properties of the object
Receive images from the robot
Find the position of the ball
  For i=1:100
    Receive a new image from the robot
    Calculate the position and size of the ball

    If is empty (location) //Right and left speed control
      Give angular velocity and search objects by rotating the robot
    Elseif If the location is on the left side of the image
      Turn the robot left
    Elseif If the location is on the right side of the image
      Turn the robot right
    End
    If is empty (location) //Forward and backward speed control
      Give angular velocity and search objects by rotating the robot
    Elseif location if the ball is too small in the image
      Move the robot forward

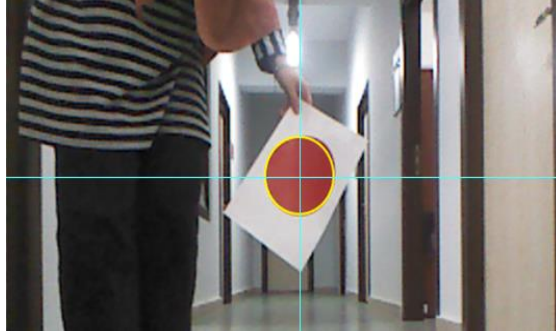
    Elseif location if the ball is too big in the image
      Move the robot backward
    End
  Publish Velocity Commands
  pause() Wait
End

```

---

## **B. OBJECT TRACKING WITH VELOCITY COMMANDS**

The velocity information is published by the ROS master to the differential wheels for tracking the detected 165 mm diameter circle. In the study, an approximately 0.62 rad/s velocity was determined for the angular approach of the mobile robot to the object and approximately 0.2 m/s for its approach in the linear plane. According to the answer of “Is the circle in the center?” in the algorithm in Fig. 6, the right or left motors are moved and this rotational action occurs continuously until the red circle settles in the center of the image (Fig. 7). Then, using the diameter information of the circle image placed in the center, the forward and backward movement of the robot in the linear plane is planned. If the measured diameter is less than the specified value, the movement is carried out in the forward direction and if it is larger, the movement is carried out in the backward direction until the robot settles at a fixed distance (Fig. 8).



*Figure 7. Centering the red circle*



*Figure 8. Robot's approach to the perceived circle*

### C. IMAGE CAPTURING PERFORMANCE TESTS

In the experiments, three different objects in red, green, and blue with different diameters were detected and the results were evaluated. Image capture times were compared as a result of experiments performed in 10 iterations. Thus, the image capture times were analyzed depending on the diameter information of the detected RGB objects. In the experiments, it has been observed that the image capture time in the first iteration had a higher margin of error compared to the results of the later iteration. The most important factor of this time difference in the first iteration is that the process of capturing the first image depends on the environmental scanning operation of the robot. To make a better comparison, image capture times were performed in 10 iterations and these periods are given in Table 4. Standard deviation was calculated using Eq. 12 for the  $T_{\Delta}$  values given in Table 4, and the propagation sensitivity was found to be  $\sigma = 0,046628$ . In addition, when the  $T_{\Delta}$  values were examined, the highest performance rate was obtained for 50 pixels in red. As a result of the experimental study, it has been observed that the blue color is a more advantageous color in the *CIE L\*a\*b\** color space.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

**Table 4.** Elapsed time for image capture with different diameter

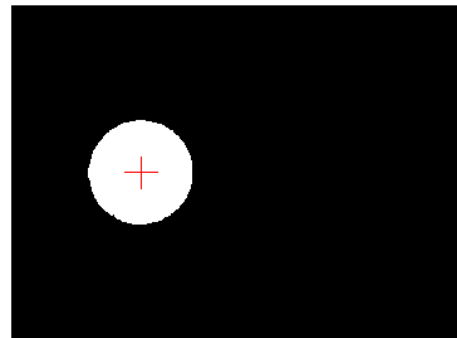
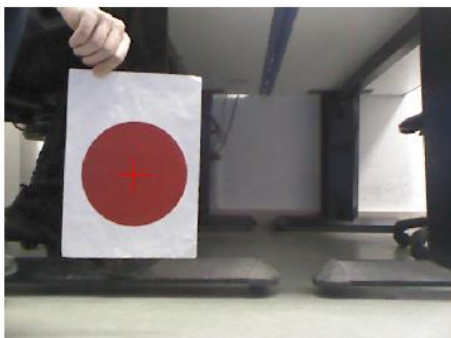
It.	Red			Green			Blue		
	Time(sec)			Time(sec)			Time(sec)		
	Radii=50	Radii=70	Radii=100	Radii=50	Radii=70	Radii=100	Radii=50	Radii=70	Radii=100
1	0.021480	0.016298	0.017597	0.020507	0.020373	0.018565	0.016105	0.016661	0.017760
2	0.014228	0.013269	0.014915	0.017983	0.012394	0.013019	0.013502	0.016269	0.013495
3	0.017966	0.014952	0.014448	0.020376	0.018624	0.016540	0.015448	0.014849	0.014104
4	0.023536	0.024912	0.014749	0.014185	0.017831	0.015817	0.015679	0.018030	0.013593
5	0.015470	0.018766	0.020868	0.014923	0.014396	0.015785	0.014012	0.019325	0.014537
6	0.012881	0.017409	0.015053	0.012784	0.011932	0.015347	0.013441	0.016662	0.014482
7	0.013962	0.016374	0.013927	0.016722	0.022311	0.012780	0.015387	0.014826	0.021548
8	0.015592	0.016767	0.012634	0.012429	0.013767	0.014222	0.017574	0.016974	0.020773
9	0.016189	0.014267	0.015635	0.014552	0.013151	0.015404	0.014145	0.016255	0.021786
10	0.016886	0.014612	0.014230	0.015928	0.015017	0.016151	0.015483	0.022815	0.015978
Mean ( $T_{\Delta}$ )	15.078 $\times 10^{-3}$	17.267 $\times 10^{-3}$	16.806 $\times 10^{-3}$	16.819 $\times 10^{-3}$	16.763 $\times 10^{-3}$	15.406 $\times 10^{-3}$	16.039 $\times 10^{-3}$	15.980 $\times 10^{-3}$	15.363 $\times 10^{-3}$

The  $CIE L^*a^*b^*$  color space used in the study was tested under equal ambient conditions with the HSV color space to be evaluated in terms of performance. In Table 5, the image capture times obtained at the end of 10 iterations are presented comparatively for both color spaces. HSV color space is much faster than  $CIE L^*a^*b^*$  color space in terms of image capture time. However, although this color space has provided an advantage in terms of image capture time, it is seen that the error rate of the HSV color space is high compared to the  $CIE L^*a^*b^*$  color space when looking at Fig. 9.

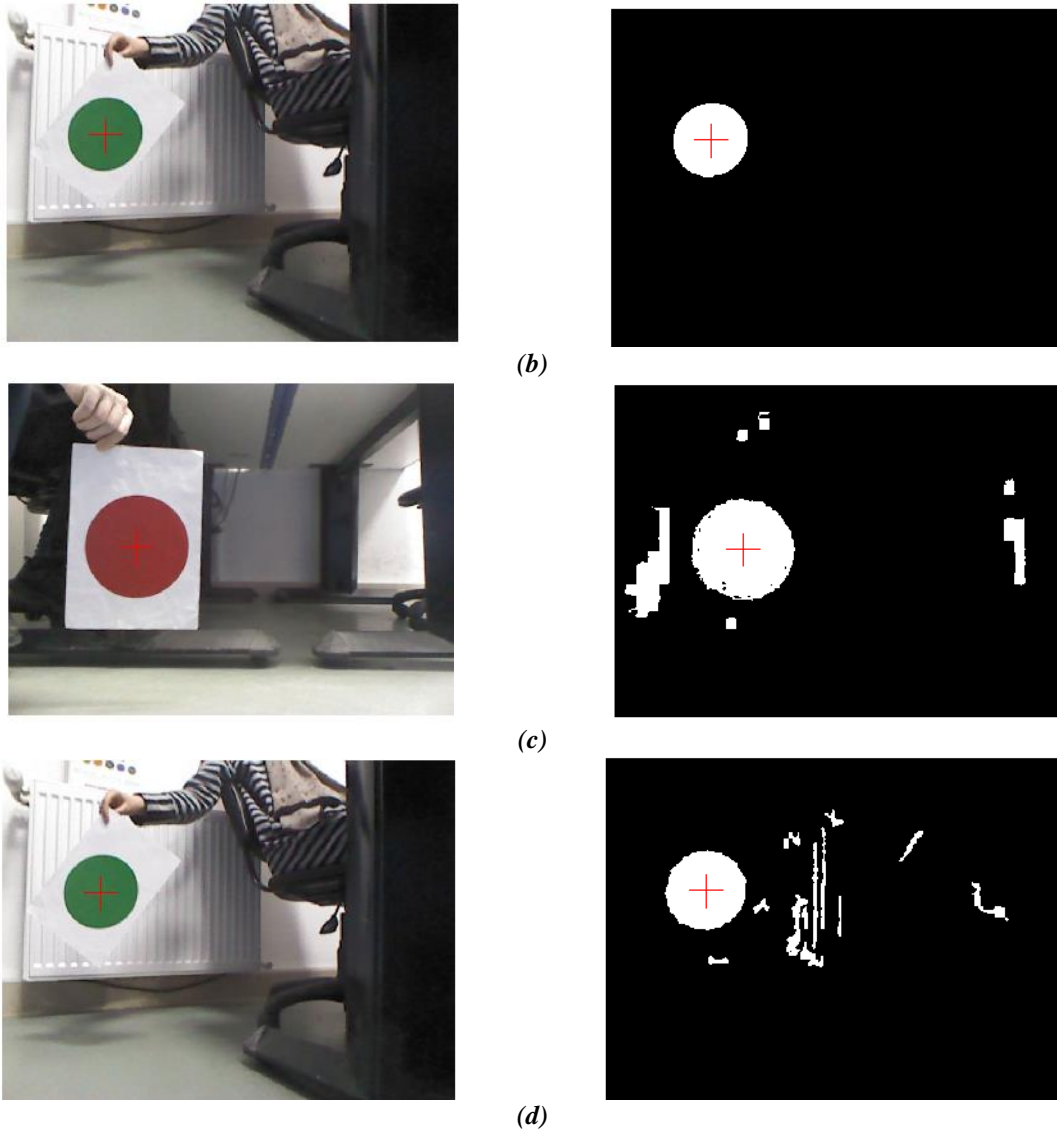
**Table 5.** Image capture times with  $CIE L^*a^*b^*$  and HSV color spaces after 11 iterations

It.	HSV Color Space	$CIE L^*a^*b^*$ Color Space
	Time(sec)	Time(sec)
1	1.995237	2.162119
2	0.088626	0.205195
3	0.092294	0.218634
4	0.107291	0.236095
5	0.090008	0.237199
6	0.091152	0.242487
7	0.138311	0.232046
8	0.107701	0.236549
9	0.099754	0.230907
10	0.098666	0.219314
Mean ( $T_{\Delta}$ )	0.290904	0.4220545

The use of HSV color space in terms of image segmentation was not considered appropriate in this study because it provides images that are fast but fuzzy. As a result of the segmentation processes, it was determined that the  $CIE L^*a^*b^*$  color space is more applicable for the object detection.



(a)



**Figure 9.** CIE  $L^*a^*b^*$  color space binary transformation; (a) red circle, (b) green circle; HSV color space binary transformation (c) red circle, (d) green circle

It has been observed that size tolerance, which is another factor in performing tracking operations of a moving object, has no effect on the image capture time. Considering the mean ( $T_{\Delta}$ ) values of image capture times given in Table 6, the difference between the size tolerance value was observed in the acceptable value range in terms of time.

**Table 6.** Image capture time at different tolerances in the detection of the object.

It.	Size Tolerance=5(pixels)	Size Tolerance=20(pixels)
	Time(sec)	Time(sec)
1	1.995237	2.162119
2	0.088626	0.205195
3	0.092294	0.218634
4	0.107291	0.236095
5	0.090008	0.237199
6	0.091152	0.242487
7	0.138311	0.232046
8	0.107701	0.236549
9	0.099754	0.230907
10	0.098666	0.219314
11	0.240140	0.291724



12	0.222898	0.227055
13	0.238374	0.215719
14	0.247309	0.200608
15	0.235898	0.232947
Mean ( $T_{\Delta}$ )	0.366375	0.363777

## **IV. CONCLUSION**

The original image processing-based software developed on the basis of the ROS architecture and performed in the study includes the effective tracking of a specific object. In this software, object detection was performed by taking the  $CIE L^*a^*b^*$  color space as reference. Later, the environmental noise was removed from the detected object and segmentation process was carried out. After this process, the tracking of the image by maintaining a certain speed and position was carried out by the mobile robot developed in the study. Tests and experiments of robotic study were carried out with a 64bit computer with i7-10750H CPU 2.60 GHz processor and 16 GB RAM.

In the experimental study, tracking of circular objects of two different colors using RGB-D cameras was carried out by a uniquely designed mobile robot. The object detection and tracking process of the mobile robot was carried out using a server-client architecture with an algorithm developed in the ROS environment. While performing these processes,  $CIE L^*a^*b^*$  color space was used and its advantages over HSV color space were investigated.

In this context, it has been determined that the  $CIE L^*a^*b^*$  color space gives a clearer result from the noise in the image compared to the HSV color space. However, the HSV color space has been found to be more advantageous than the  $CIE L^*a^*b^*$  color space in terms of image capture and response time. At the end of the tests, the results of the  $CIE L^*a^*b^*$  color space has been evaluated according to the image capture and response times on objects of different diameter, size tolerance and color. As a result, it has been determined that the  $CIE L^*a^*b^*$  color space is superior to detect the object in the image while performing the detection and tracking process of the moving object. In addition, this software, developed with a unique mobile robot platform, has been integrated and object detection and tracking operations has been carried out.

**ACKNOWLEDGEMENT:** We would like to thank the Robot Technologies and Smart Systems Application and Research Centre (ROTASAM) for providing every opportunity to carry out this study. This study was also supported by Sakarya University of Applied Sciences Scientific Researches Coordinatorship with project number 010-2020.

## **V. REFERENCES**

- [1] R. Munoz-Salinas, E. Aguirre and M. Garcia-Silvente, "People detection and tracking using stereo vision and color," *Image and Vision Computing*, pp. 995-1007, 2007.
- [2] A. Treptow, G. Cielniak and T. Duckett, "Real-time people tracking for mobile robots using thermal vision," *Robotics and Autonomous Systems*, pp. 729-739, 2006.
- [3] M. Munaro, F. Basso and E. Menegatt, "Tracking people within groups with RGB-D data," International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vilamoura, Algarve, Portugal, 2012.
- [4] C. Martin, E. Schaffernicht and H. M. Gross, "Multi-modal sensor fusion using a probabilistic aggregation scheme for people detection and tracking," *Robotics and Autonomous Systems*, pp. 721-728, 2006.

- [5] K. A. Joshi and D. G. Thakore, "A Survey on Moving Object Detection and Tracking in Video Surveillance System," *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, pp. 44-48, 2012.
- [6] R. C. L. Fellow, Y. J. Chen, C. T. Liao and A. C. Tsai, "Mobile Robot Based Human Detection and Tracking Using Range and Intensity Data Fusion," 2007 IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts, Taiwan, 2007.
- [7] B. Jung and G. S. Sukhatme, "Detecting Moving Objects using a Single Camera on a Mobile Robot in an Outdoor Environment," In the 8th Conference on Intelligent Autonomous Systems, Amsterdam, The Netherlands, 2004.
- [8] I. Markovic, F. Chaumette and I. Petrovic, "Moving object detection, tracking and following using an omnidirectional camera on a mobile robot," IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA), Hong Kong, China, 2014.
- [9] M. Yokoyama and T. Poggio, "A Contour-Based Moving Object Detection and Tracking," Proceedings 2nd Joint IEEE International Workshop on VS-PETS, Beijing, 2005.
- [10] M. Wu and J.-Y. Sun, "Moving Object Detecting and Tracking with Mobile Robot Based on Extended Kalman Filter in Unknown Environment," International Conference on Machine Vision and Human-machine Interface, 2010.
- [11] A. Badar, F. I. Khawaja, A. Yasar and M. Naveed, "Human detection and following by a mobile robot using 3D features," International Conference on Mechatronics and Automation, Takamatsu, Japan, 2013.
- [12] N. Bellotto and H. Hu, "Multisensor-Based Human Detection and Tracking for Mobile Service Robots," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, pp. 167-181, 2013.
- [13] X. Zou and B. Ge, "The Image Recognition of Mobile Robot Based on CIE Lab Space," *I.J. Information Technology and Computer Science*, pp. 29-35, 2014.
- [14] S. Pal, A. Pramanik, J. Maiti, and P. Mitra, "Deep learning in multi-object detection and tracking: state of the art," *Applied Intelligence*, 2021.
- [15] M. Elhoseny, "Multi-object Detection and Tracking (MODT) Machine Learning Model for Real-Time Video Surveillance Systems," *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 2019.
- [16] A. Pramanik, S. Pal, J. Maiti and P. Mitra, "Granulated RCNN and Multi-Class Deep SORT for Multi-Object Detection and Tracking," IEEE Transactions On Emerging Topics In Computational Intelligence, pp. 1-11, 2021.
- [17] P. R. Narkhede and A. V. Gokhale, "Color Particle Filter Based Object Tracking using Frame Segmentation in CIELab\* and HSV Color Spaces," IEEE ICCSP 2015 conference, 2015.
- [18] A. Mondal, A. Ghosh and S. Ghosh, "Partially Camouflaged Object Tracking using Modified Probabilistic Neural Network and Fuzzy Energy based Active Contour," *International Journal of Computer Vision*, p. 116-148, 2017.
- [19] Y.-C. Li and S.-Y. Huang, "Fast-Moving Object Tracking in Air Hockey," International Conference on Mechatronics and Automation, Takamatsu, Japan, 2017.

- [20] Q. Peng, S.-d. Zhong and L.-f. Tu, "Cast shadow detection for moving objects based on binocular stereo vision," *Journal of Central South University*, pp. 651–658, 2014.
- [21] S. Sankarasrinivasan, E. Balasubramanian, F. Y. Hsiao and L. J. Yang, "Robust Target Tracking Algorithm for MAV Navigation System," *International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC)*, India, 2015.
- [22] H. Kim, W. Chung and Y. Yoo, "Detection and tracking of human legs for a mobile service robot," *International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Montreal, Canada, 2010.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Cam Tozu ve Uçucu Kül Katkılı Harçların Zamana Bağlı Elektriksel Özdirenç ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

 Behçet DÜNDAR <sup>a,\*</sup>,  Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI <sup>a</sup>,  Turhan Can KARCI <sup>a</sup>,  Atahan DÖNMEZ <sup>a</sup>

<sup>a</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, TÜRKİYE  
\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: behcetdundar@osmaniye.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1093355

### Öz

Mineral katkıları, çimento esaslı kompozitlerin bazı özelliklerini iyileştirmek ve çimento miktarını azaltmak için beton karışımında kullanılmaktadır. Kullanılan çimento miktarının azaltılması ile çevre kirliliğinin ve çimento üretimi sırasındaki yüksek maliyetin önüne geçilmesi sağlanmaktadır. Bu kapsamda çimento ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek Cam Tozu (CT) ve Uçucu Kül (UK) karışıma ilave edilmiştir. Harç numunelerinin hazırlanmasında bağlayıcı olarak CEM I 42.5/R tipi Portland çimentosu, agrega olarak ise 0-4 mm boyutlarında kırma kum kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında 40x40x160 mm boyutlarında üretilen numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra, standart kür havuzunda 7, 28, 56, 90 ve 180 gün boyunca 20±2 °C sıcaklıkta kür edilmiştir. Taze haldeki harç numunelerine yayılma, sertleşmiş harç numunelerine ise basınç ve eğilme dayanımı ile elektriksel özdirenç deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler doğrultusunda erken yaşta CT ve UK ilavesinin elektriksel özdirenci düşürdüğünü fakat numune yaşı ilerledikçe artışlar meydana geldiği görülmektedir. 180 günlük elektriksel özdirenç değeri REF numunesinde 0.04223 kΩm iken %30UK numunesinde 0.04755 kΩm, %30 CT numunesinde ise 0,04621 kΩm değerine ulaşmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Cam Tozu, Elektriksel Özdirenç, Mineral Katkı, Uçucu Kül

## Investigation of Time-Dependent Electrical Resistivity and Mechanical Properties of Glass Powder and Fly Ash Additive Mortars

### ABSTRACT

Mineral additives are preferred to improve the physical, mechanical and durability properties of cement-based composites and to reduce the amount of cement used. By reducing the use of cement, it is ensured that environmental pollution and the high cost of cement production are prevented. In this context, Glass Powder (CT) and Fly Ash (UK) were added to the mixture by replacing 10%, 20% and 30% by weight of cement. In the production of the mortar samples, CEM I 42.5/R type Portland cement was used as the binder, and 0-4 mm crushed sand was used as the aggregate. After the samples produced in the laboratory with dimensions of 40x40x160 mm were removed from the mold, they were cured in the standard curing pool at 20±2 °C for 7, 28, 56, 90 and 180 days. Flow table test, compressive strength, flexural strength and electrical resistivity tests were performed on hardened mortar samples. According to the data obtained as a result of experimental studies, the addition of CT and UK at an early age decreased the electrical resistivity, but the resistance increased significantly as the age of the sample progressed. While the 180-day electrical resistivity value was 0.04223 kΩm in the REF sample, it reached 0.04755 kΩm in the 30%UK sample and 0.04621 kΩm in the 30% CT sample.

**Keywords:** Glass Powder, Electrical Resistivity, Mineral Additive, Fly Ash

# I. GİRİŞ

Küresel ısınmanın en etkili sebepleri arasında artan sera gazı emisyonlarının etkili olduğu kabul edilmektedir. Karbondioksit gazı, dünya çapında küresel ısınmaya sebep olan gazların yaklaşık olarak %8'sini temsil eden önemli gazlardan biridir [1]. Çimento üretiminde, kalsinasyon işleminden kaynaklanan karbondioksit emisyonları ve hammaddeleri ısıtmak için kullanılan yakıt tüketimi nedeniyle çevre kirliliğine neden olmaktadır [2], [3]. Çimentodan kaynaklı çevre kirliliğini aza indirmek için inşaat endüstrisinde çevreye duyarlı çimento esaslı bağlayıcı maddeler kısmen ya da tamamen atık malzemelerle ve endüstriyel atıklar ile değiştirilerek kullanılmaktadır [4], [5]. Bu atık maddeler arasında kolemanit, silis dumanı, uçucu kül, mermer tozu, yüksek fırın cürufu, cam tozu vb. kullanılmaktadır [6], [7]. Bu mineral katkıları arasında termik santrallerden endüstriyel bir atık olarak ortaya çıkan Uçucu Kül (UK), depolanması ve bertarafı oldukça zordur [8], [9]. Mineral katkı maddesi olarak UK'nın kullanılması, geliştirilmiş reolojik özellikler, aşınma direnci, korozyon, sülfat saldırısı ve donma-çözülme vb. gibi betonun veya harçların diğer özelliklerini de iyi hale getirir [10], [11]. Endüstriyel yan ürün olan UK, mekanik ve dayanıklılık performansına sağladığı faydalardan dolayı harçlarda kullanılan en yaygın atıklar arasında yer alır. Bununla birlikte, UK'nın erken yaş dayanımı genellikle Portland çimentosununkinden daha düşüktür. UK kullanımı priz gecikmelerine ve daha yavaş dayanım gelişimine neden olur [12], [13], [14], [15], [16]. Diğer bir mineral katkı olan Cam Tozu (CT), sosyo-ekonomik gelişme nedeniyle üretimi hızla artan, bol miktarda üretilen ve atık haline gelen bir atık malzemedir [17]. Depolama alanlarındaki bu büyük atık CT birikimi, sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesinde engel oluşturabilir [18]. Çimento esaslı malzemelerin üretiminde, CT'nın puzolanik yapısında dolayı çimento yerine tercih edilmesine neden olmaktadır [19], [20]. Bahsi geçen mineral katkıları harç numunelerinin basınç ve eğilme dayanımı, su emme, porozite ve elektriksel özdirenç değerlerini iyileştirmektedir. Sabit su/çimento oranına sahip çimento esaslı malzemeler için, elektriksel özdirenç esas olarak gözenek yapısının doygunluk derecesine bağlıdır [21], [22]. Çimento esaslı malzemeler genellikle doymamış bir durumdadır ve suyun taşınması genellikle kılcal emilim şeklinde oluşur [23], [24]. Çimento esaslı malzeme, kılcal su emilimi nedeniyle yağmurlu veya nemli bir ortama maruz kaldığında elektrik direnci azalır. Bu nedenle, kılcal emme durumu altında çimentolu malzemenin elektrik direncini geliştirmek büyük bir gereklilik ve önceliktir [25], [26]. Gözenek yapısının hem kılcal emme hem de elektriksel özellik için önemli bir etkidir [27], [28], [29]. Elektrik özdirenç, bir malzemenin elektrik akımı akışına karşı koyma yeteneğidir. Numunenin nem muhtevası ve bileşimine göre değişkenlik gösterir [30], [31], [32]. Harç bileşiminde, çimentonun tipi ve inceliği, bileşim içerisindeki çözünür tuz içeriği, su/çimento oranı, agregaların tipi, boyutu ve harç numunesi içerisindeki gözenekler gibi etkiler elektrik akımının engellediğinden elektrik direncini artırırlar [33]. Gözeneklerin hacmi, boyutu ve gözenekler arasındaki bağlantının yanı sıra çimento hamurunun mikro yapısına da bağlıdır [34], [35], [36], [37]. Yüksek doygunluğa sahip betonda su/sıcaklık oranının elektriksel özdirenç üzerindeki etkisi daha az önemlidir. Çünkü nem, betonun elektriksel özelliklerini tanımlamada önemli bir rol oynar [38]. Mineral katkıları (örneğin, yüksek fırın cürufu [39], uçucu kül [40] ve silis dumanı [41], genellikle daha dayanıklı betonlar elde etmek için kullanılır [42]. Diğer yandan, karışım tasarımına iletken dolgu maddeleri eklenirse, elektrik direnci azalır ve malzeme iletimi kısmen elektrolitikten elektriğe doğru hareket eder [43], [44], [45]. Akım esas olarak gözenek çözeltisinden geçtiği için beton bir elektrolitik iletken olarak düşünülebilir [46].

Bu çalışmanın mineral katkı kullanımında harç yaşı ile yalnızca mekanik özelliklerin gelişimi değil aynı zamanda elektriksel olarak gelişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında, CT ve UK çimento ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek üretilen harçların 180 güne kadar belirli günlerde elektriksel özdirenç ve mekanik özelliklerinin değişimleri incelenmiştir. Taze haldeki harç numunelerine öncelikle yayılma deneyi uygulanmış, ardından numuneler 7, 28, 56, 90 ve 180 gün süre ile  $20 \pm 2$  °C standart kür havuzunda bekletilmiş, belirtilen kür süreleri sonunda basınç ve eğilme dayanımları, ile elektriksel özdirenç değerleri tayin edilmiştir.

## **II. MATERYAL VE METOT**

Araştırmanın bu bölümünde, yapılan çalışmalarda kullanılan çeşitli malzemelerin özellikleri ile üretilen harç numunelerinin karışım oranları ve numuneler üzerinde yapılacak deneyler bulunmaktadır.

### **A. Materyal**

Harç numunelerinin üretiminde standartlara uygun 0-4 mm tane boyutuna sahip kalker esaslı kırma kum agregası kullanılmıştır [47]. Harç üretiminde kullanılan kırma kum Osmaniye il sınırlarında bulunan taş ocağında temin edilmiştir. Kullanılan kırma kumun incelik modülü 3.45 olarak hesaplanmıştır. Kırma kumun su emme yüzdesi % 1.15, yoğunluğu  $2.67 \text{ gr/cm}^3$  olarak TS EN 1097-6'ya göre belirlenmiştir [48]. Harç karışımlarının hazırlanmasında, TS EN 1008 standardına uygun olan Osmaniye ili, içilebilir şehir şebeke suyu kullanılmıştır [49].

Deneyel çalışmada bağlayıcı olarak kullanılmak üzere, TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretilmiş ÇİMSA fabrikasından temin edilen CEM I-42.5/R tipi Portland Çimento tercih edilmiştir [50]. Osmaniye OYAK Hazır Beton tesisinden temin edilen ASTM C 618 standardına göre F sınıfı düşük kireçli, özgül ağırlığı 2.58 olan UK kullanılmıştır [51]. Mineral katkı olarak kullanılan öğütülmüş CT özgül ağırlığı 2.6 ve 0-63 mikron tane dağılımına sahiptir. Kullanılan Portland Çimentosu, CT ve UK'nın kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

*Tablo 1. Portland çimentosu, CT ve UK'nın kimyasal analiz sonuçları.*

<b>Kimyasal Analiz</b>	<b>CEM I 42.5 R (%)</b>	<b>UK (%)</b>	<b>CT (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	20.62	60.53	67.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.75	17.22	2.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.05	4.86	1.42
CaO	62.81	5.31	12.45
MgO	2.55	1.91	2.74
Na <sub>2</sub> O	2.67	0.65	12.05
SO <sub>3</sub>	-	1.36	
K <sub>2</sub> O	-	2.50	0.64

### **B. METOT**

Çalışmada üretilen harç karışımlarının hazırlanmasında kırma kum/bağlayıcı/karışım suyu oranları TS EN 196-1'e göre 3/1/0.5 olarak belirlenmiştir [52]. UK ve CT çimento ile %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilerek kullanılmıştır. Harç numunelerinde kullanılan malzeme miktarları, Tablo 2'te verilmiştir.

*Tablo 2. Harç karışımları için kullanılan malzeme miktarları (gr)*

<b>Numune İsmi</b>	<b>Çimento</b>	<b>CT</b>	<b>UK</b>	<b>Kırma Kum</b>	<b>Su</b>
REF	450	0	0	1350	225
CT10	405	45	0	1350	225
CT20	360	90	0	1350	225
CT30	315	135	0	1350	225
UK10	405	0	45	1350	225
UK20	360	0	90	1350	225
UK30	315	0	135	1350	225

## B. 1. Yayılma Deneyi

Her bir numuneye karıştırma işlemlerinin sonrasında taze haldeki işlenebilirliğinin belirlenmesi için yayılma tablası deneyi uygulanmıştır. Karıştırılan taze haldeki harç, yayılma değerinin belirlenmesinde kullanılan kesik koniye iki tabakada doldurulmaya başlanmıştır. Kesik koni tamamen dolu hale geldikten sonra koni çıkarılmış ve yayılma tablasının 15 kez düşüş yapılması sağlanmıştır. Düşüşlerin ardından taze haldeki harçta oluşan yayılmayı bulabilmek için yayılan harcın eksenlerinde yayılma çapı değerleri ölçülmüştür [53]. Taze haldeki harçlara uygulanan yayılma tablası deneyi Şekil 1’de gösterilmiştir.



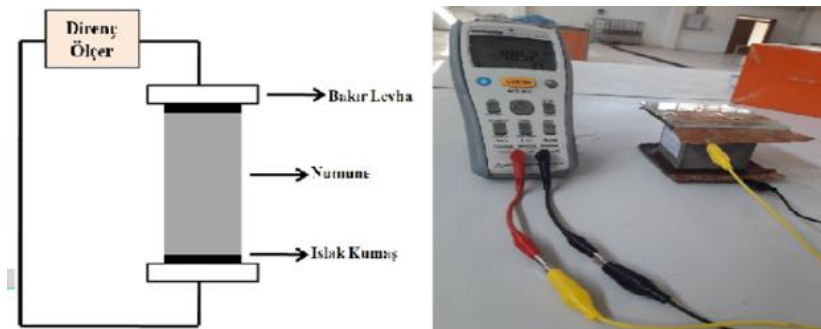
Şekil 1. Yayılma tablası deney düzeneği.

## B. 2. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyi

Harç numuneleri 40x40x160 mm boyutlarındaki standart kalıplara standartlara uygun bir şekilde iki aşamada yerleştirilmiştir. 24 saat kalıpta bekletildikten sonra çıkartılan numuneler 20±2° C sıcaklıktaki standart kür havuzu içerisinde 7, 28, 56 ve 90. 180 günlerin sonunda 200 kN kapasiteli Baz Makine tarafından imal edilen çimento pres cihazı yardımıyla TS EN 12390-4 (2002) standardına uygun eğilme ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur [54].

## B. 3. Elektriksel Özdirenç Ölçümü

Elektriksel özdirenç değerleri 0.1, 0.12, 1 ve 10 kHz olmak üzere farklı frekans değerleri için elde edilmiştir. Frekans, bir alternatif akım (AC) sinyalinin saniye başına devir sayısıdır. Boşluk çözültisinde oluşan iyon transferi nedeniyle çimento esaslı kompozitlerde elektriksel özdirenç oluşmaktadır. Frekans değerinin artışı ile iyon hareketliliğinde artış meydana gelir ve bu da elektriksel özdirenç değerini arttırmaktadır. Frekans değişikliği ile meydana gelecek olan elektriksel özdirenç değişimin gözlenebilmesi açısından 4 farklı frekans değeri seçilmiştir. Etüv kurusu haline getirilmiş harç numunelerinin üzerinde ASTM C 1760 standardına göre Şekil 2’de gösterilen deney düzeneği ve direnç ölçer (Ohm-metre) ile iki plaka metoduna göre elektriksel direnç değerleri belirlenmiştir.



Şekil 2. Elektriksel özdirenç ölçümünde kullanılan deney düzeneği.

Elektrik özdirenç ölçümleri ASTM C 1760 standardına uygun olarak ölçülmüş ve Denklem (1), aracılığıyla numunelerin özdirenç ve iletkenlik değerleri hesaplanmıştır [55]. Direnç değerleri (R) ölçülen harçların elektriksel özdirenç değerleri Eş. 1 yardımıyla belirlenmiştir.

$$\delta = R * A/L \quad (1)$$

Eşitsizlikte;

$\delta$ : Elektriksel özdirenç (k $\Omega$ m.m)

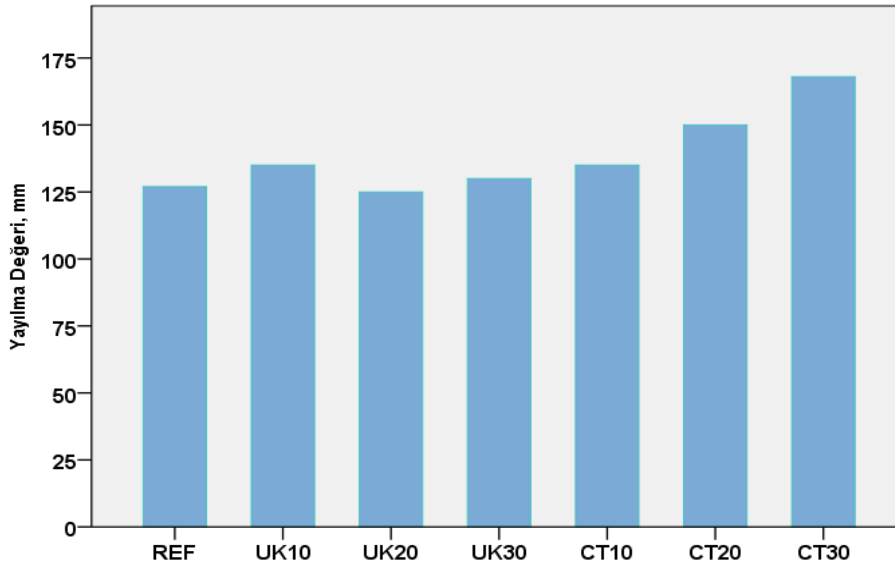
R: Direnç (k $\Omega$ m)

A: Numunenin yüzey alanı (m<sup>2</sup>)

L: Plakaların arasındaki mesafeyi (m) simgelemektedir.

### **III. DENEYSEL SONUÇLAR**

Deneyel çalışma için üretilen harç numunelerin taze haldeki işlenebilirlik özelliklerini belirlemek için uygulanan yayılma tablası deneyine ait sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir. Harç numunelerine ait yayılma değerleri incelediğinde, REF numunesinde 130 mm değerini alırken, UK10, UK20 ve UK30 numunelerinde ise sırasıyla 135 mm, 125 mm ve 130 mm, CT10, CT20 ve CT30 numunelerinde ise, 110 mm, 135 mm ve 125 mm olarak belirlenmiştir.

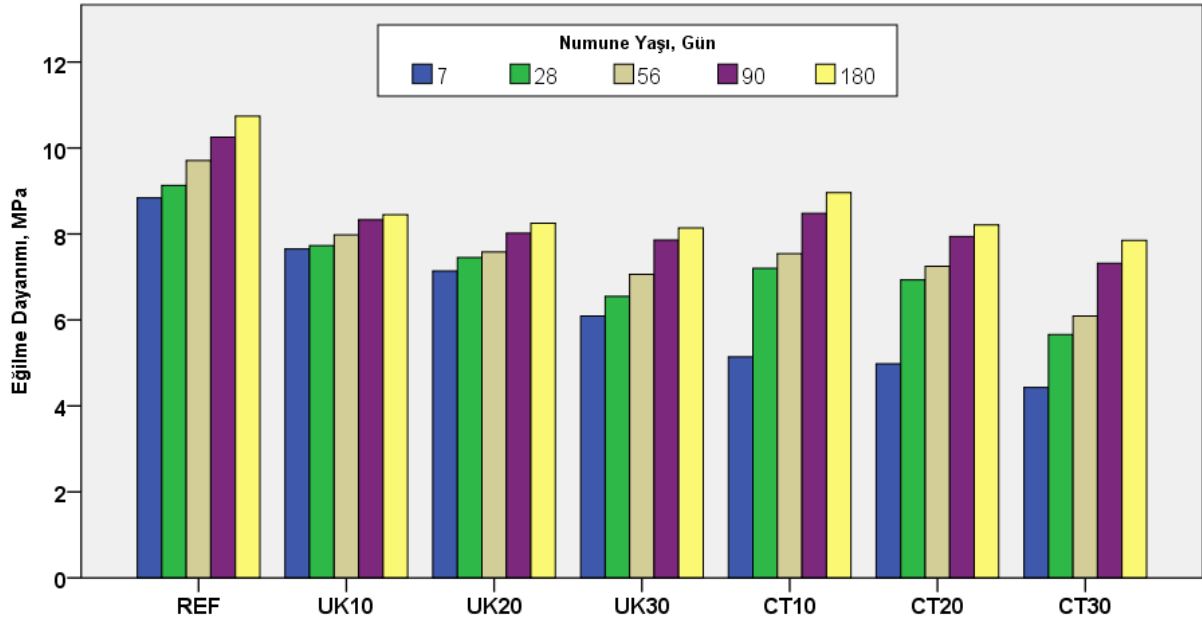


*Şekil 3. Harç numunelerin yayılma değerleri.*

Tüm numunelere 7, 28, 56, 90 ve 180 günlük kür süresini takiben eğilme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Numunelere ait eğilme dayanımı değerleri Şekil 4'te verilmiştir.

En fazla eğilme dayanımı 180. günde REF numunesinde 10.74 MPa, en az ise 7. günde CT30 numunesinde 4.73 MPa olduğu görülmektedir. UK oranı arttıkça eğilme dayanımında azalmalar olmaktadır. 7. günde en fazla eğilme dayanımı REF numunesinde 8.84 MPa, en az ise CT30 4.43 MPa olarak tespit edilmiştir. 7 günlük veriler incelendiğinde UK katkılı numuneler CT katkılı numuneler göre daha yüksek dayanım değeri almıştır. CT10, CT20 ve CT30 numunelerin 7 günlük eğilme dayanımları sırasıyla 5.14 MPa, 4.98 MPa ve 4.43MPa olarak görülmektedir.

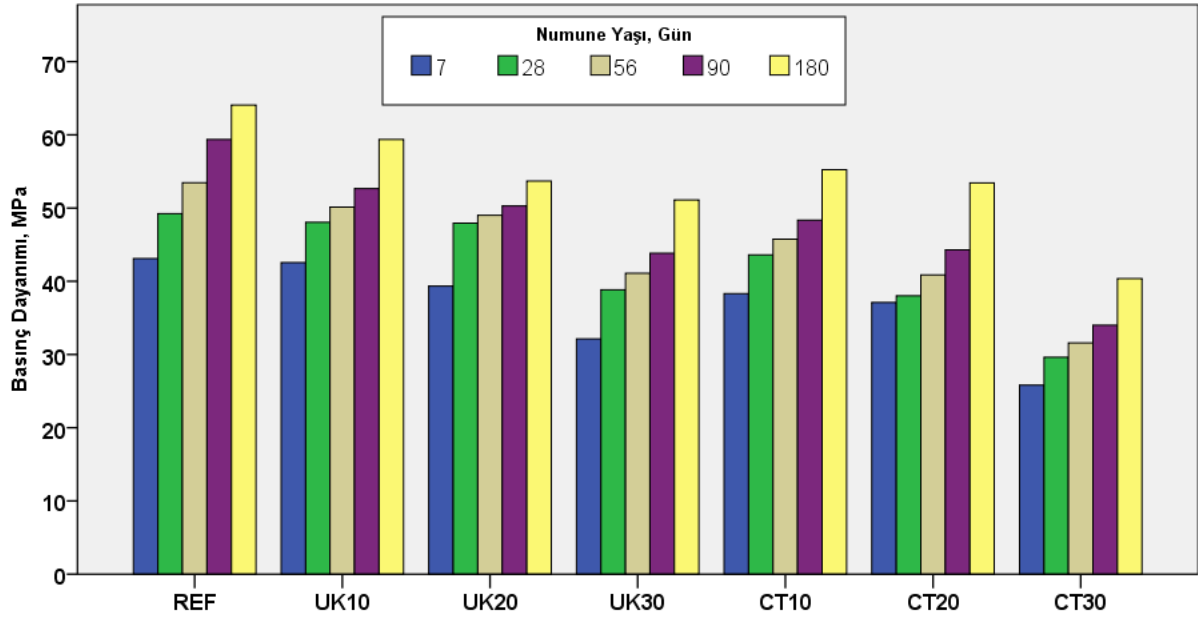




Şekil 4. Harç numunelerin eğilme dayanımı değerleri.

Tüm numunelere 7, 28, 56, 90 ve 180 günlük kür süresi sonrasında basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Numunelere ait basınç dayanımı değerleri Şekil 5'te verilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde en fazla dayanım 180 günlük REF numunesinde 64.06 MPa, en az ise 7 günlük CT30 numunesinde 25.82 MPa değeri olmuştur. Eğilme dayanımında olduğu gibi UK oranı ve numune yaşı arttıkça basınç dayanımında da düşüşler olmuştur. UK katkılı numunelerde en fazla dayanım 180 günlük UK10 numunesinde 59.36 MPa, en düşük dayanım ise 7 günlük UK30 numunesinde 32.14 MPa olarak görülmektedir. CT katkılı numuneler incelendiğinde ise CT oranı arttıkça basınç dayanımında düşüşler gerçekleşmiştir. Bu düşüşler sonucunda en düşük basınç dayanımı 7 günlük CT30 numunesinde 25.82 MPa, en yüksek dayanım ise 180 günlük CT10 numunesi 55.23 MPa olmuştur. İbrahim'in 2021 yılında yapmış olduğu çalışmada uçucu kül içeren betonlarda çimento yerine cam tozunu kısmen yer değiştirmiştir. Çalışmada basınç dayanımı incelendiğinde CT ve UK oranlarının artmasıyla basınç dayanımında azalma tespit etmiştir [56]. Bu sonuçlar göz önüne alındığında hem UK için hem de CT için katkı oranları arttıkça basınç dayanımlarında bir düşüş gerçekleştiği söylenebilir. En ideal kullanım oranı ise her iki mineral katkı oranı %10'luk değer olmuştur.



Şekil 5. Harç numunelerin basınç dayanım değerleri.

Harç numuneleri üzerinde yapılan elektriksel özdirenç değerleri, 0.1 kHz, 0.12 kHz, 1 kHz ve 10 kHz farklı frekans değerlerine göre belirlenmiştir. Harç numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda 0.1 kHz ölçümlerine göre elde edilen Elektriksel özdirenç değerlerine ait veriler Şekil 6'da verilmiştir.

7 günlük ölçümler sonucunda REF numunesinin özdirenç değeri 0.04084 k $\Omega$ m olarak bulunmuştur. UK ile üretilen %10, %20, %30 numunelerin sırayla özdirençleri 0.4066 k $\Omega$ m, 0.4079 k $\Omega$ m, 0.4072 k $\Omega$ m olarak hesaplanmıştır. CT ile üretilen %10, %20, %30 numunelerin sırayla özdirençleri 0.04086 k $\Omega$ m, 0.04091 k $\Omega$ m, 0.04088 k $\Omega$ m olarak ölçülmüştür. CT numuneleri REF numunesine kıyasla daha fazla direnç göstermiştir. UK numunesi için REF numunesinden daha düşük dirence sahiptir. Şekil 5. incelendiğinde hem UK hem de CT numuneleri kendi aralarında kıyaslandığında en yüksek dirençleri %20 oranında olmuştur. Her ikisi de %30 oranında bir düşüş gerçekleştirmiştir.

14 günlük ölçümlerinde 7 günlük dirençlere göre genel bir artış görülmektedir. 14 günlük yaşların da en yüksek dirence sahip numune 0.04117 k $\Omega$ m değeri ile REF olmuştur. REF değerine en yakın 0.04116 k $\Omega$ m değeri ile UK30 olmuştur. 14 günlük direnç sonucunda UK kendi aralarında incelendiğinde oran arttıkça direnç de artmıştır. CT numunelerinde ise %20 de düşüş gerçekleşirken %30 da yükselme görülmüştür.

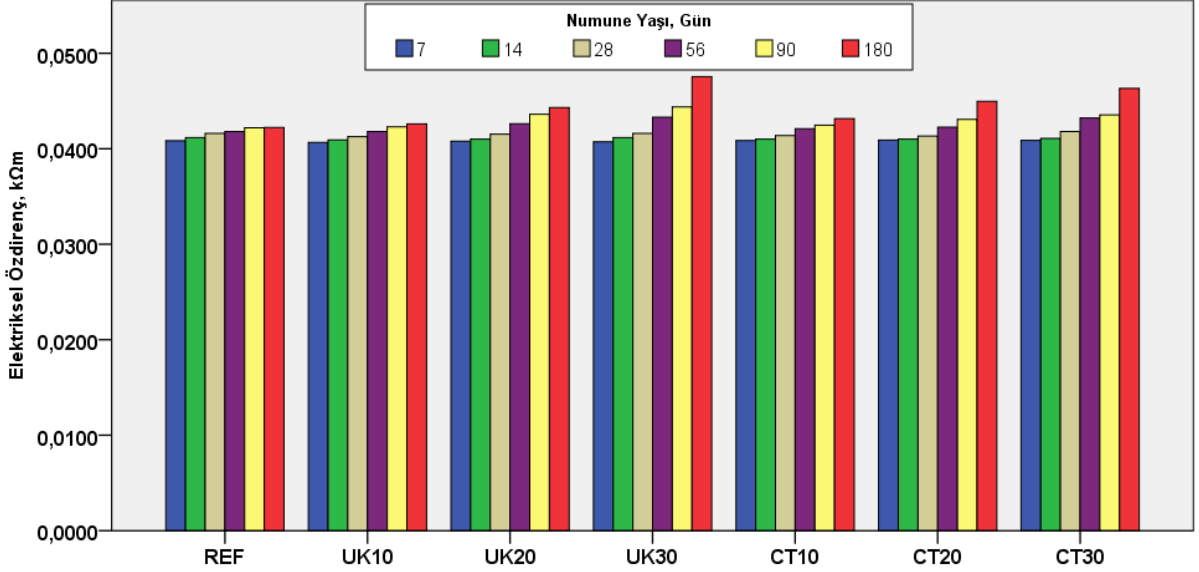
28 günlük ölçümler incelendiğinde ise 14 günlük dirençlere göre tüm numuneler artış göstermektedir. Sonuçlarda en yüksek dirence sahip numune 0.04181 k $\Omega$ m değeri ile CT30, en düşük direnç ise 0.04126 k $\Omega$ m değeri ile UK10 olmuştur. 14 günlük değer ile benzer özellikler göstermiştir. UK numuneleri oran arttıkça direnç artmıştır ve CT numuneleri ise %20 de düşüş %30 da artış göstermektedir.

56 günlük ölçümlerde, REF numunesi 0.04181 k $\Omega$ m direnç ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde tüm numuneler 28 günlük dirençlere kıyasla büyük artışlar gerçekleştirmiştir. 56 günlük dirençler arasında en büyük dirence sahip numune 0.04331 k $\Omega$ m değeri ile UK30, en küçük direnç ise 0.04181 k $\Omega$ m değeri ile REF ve UK10 olmuştur. CT ve UK numuneleri 56 günlük dirençlerinde oran arttıkça dirençler de artmıştır.

90 günlük ölçümlerde, REF numunesi 0.04219 k $\Omega$ m direnç ölçülmüştür. 56 günlük dirençlere kıyasla 90 günlük numuneler daha fazla dirence sahip olduğu görülmektedir. 90 günlük dirençler arasında en fazla dirence sahip numune 0.04437 k $\Omega$ m değeri ile UK30, en düşük direnç ise 0.04219 k $\Omega$ m değeri ile REF olmuştur. CT ve UK numuneler 56 günlük numunelerde olduğu gibi oran arttıkça direnç artmıştır.

180 günlük ölçümlerde REF numunesi 0.04223 kΩm direnç ölçülmüştür. 90 günlük numunelere kıyasla 180 günlük numuneler daha fazla dirence sahip olduğu ve en fazla artışın gerçekleştiği yaş olmaktadır. 180 günlük numunelerde en fazla dirence sahip numune 0.04755 kΩm değeri ile UK30, en düşük direnç ise 0.04223 kΩm değeri ile REF olmuştur. Numunelerin dirençleri incelendiğinde CT ve UK oranları arttıkça direnç değerleri de artmıştır.

Sonuç olarak, numuneler 56 günlük yaşlarının sonunda REF direncini geçmeyi başarmış ve daha sonraki yaşlarında büyük artışlar gerçekleştirmiştir. Erken yaşlarda CT numuneleri UK numunelere göre daha fazla direnç gösterirken, 56 günlük yaşı ve daha sonrasında UK numuneleri daha fazla direnç göstermeye başlamıştır. Bu durumda numune yaşı arttıkça sahip olduğu direnç de artmış olduğu görülmektedir [57],[58],[59].



Şekil 6. Numunelerin 0.1 kHz frekansına ait elektriksel öz direnç ile numune yaşı arasındaki ilişki.

Harç numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda 0.12 kHz ölçümlerine göre elde edilen Elektriksel öz direnç değerlerine ait veriler Şekil 7’de verilmiştir.

7 günlük ölçümler sonucunda REF numunesinin direnç değeri 0.04084 kΩm olarak bulunmuştur. UK ile üretilen %10, %20, %30 numunelerin sırayla dirençleri 0.4065 kΩm, 0.4079 kΩm, 0.4071 kΩm olarak bulunmuştur. CT ile üretilen %10, %20, %30 numunelerin sırayla dirençleri 0.04086 kΩm, 0.04090 kΩm, 0.04087 kΩm olarak ölçülmüştür. CT numuneleri REF numunesine kıyasla daha fazla direnç göstermiştir. UK numunesi için REF numunesinden daha düşük dirence sahiptir. Hem UK hem de CT incelendiğinde numunelerin en yüksek dirençleri %20 oranında olmuştur. Her ikisi de %30 oranında bir düşüş gerçekleştirmiştir.

14 günlük ölçümlerinde 7 günlük dirençlere göre genel bir artış görülmektedir. 14 günlük yaşların da en yüksek dirence sahip numune 0.04116 kΩm değeri ile UK olmuştur. REF değerine en yakın 0.04115 kΩm değeri ile UK30 olmuştur. 14 günlük direnç sonucunda UK kendi aralarında incelendiğinde oran arttıkça direnç de artmıştır. CT numunelerinde ise %20 de düşüş gerçekleşirken %30 da yükselme görülmüştür.

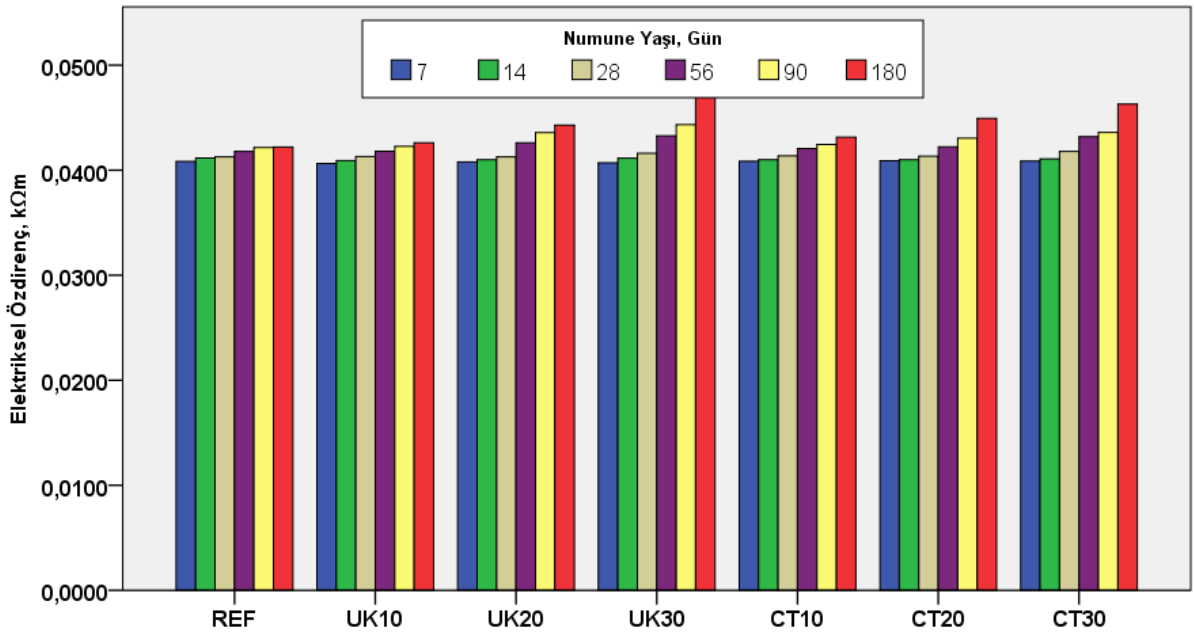
28 günlük ölçümler sonucunda REF numunesinin direnç değeri 0.04128 kΩm olarak bulunmuştur. 28 günlük ölçümler incelendiğinde ise 14 günlük dirençlere göre tüm numuneler artış göstermektedir. Sonuçlarda en yüksek dirence sahip numune 0.04179 kΩm değeri ile CT30, en düşük direnç ise 0.04127 kΩm değeri ile UK20 olmuştur. 14 günlük değer ile benzer özellikler göstermiştir. UK ve CT numunelerinde %20 de düşüş gerçekleşirken %30 da bir artış gerçekleşmiştir.

56 günlük ölçümler REF numunesi 0.04179 kΩm direnç ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde tüm numuneler 28 günlük dirençlere kıyasla artış gerçekleştirmiştir. 56 günlük dirençler arasında en büyük dirence sahip numune 0.04328 kΩm değeri ile UK30, en küçük direnç ise 0.04179 kΩm değeri ile REF olmuştur. CT ve UK numuneleri 56 günlük dirençlerinde oran arttıkça dirençler de artmıştır ve tüm numuneler REF değerinden daha fazla direnç göstermiştir.

90 günlük ölçümlerde REF numunesi 0.04216 kΩm direnç ölçülmüştür. 56 günlük dirençlere kıyasla 90 günlük numuneler daha fazla dirence sahip olduğu görülmektedir. 90 günlük dirençler arasında en fazla dirence sahip numune 0.04434 kΩm değeri ile UK30, en düşük direnç ise 0.04216 kΩm değeri ile REF olmuştur. CT ve UK numuneler 56 günlük numunelerde olduğu gibi oran arttıkça direnç artmıştır.

180 günlük ölçümlerde REF numunesi 0.04221 kΩm direnç ölçülmüştür. 90 günlük numunelere kıyasla 180 günlük numuneler daha fazla dirence sahip görülmektedir. 180 günlük numunelerde en fazla dirence sahip numune 0.04754 kΩm değeri ile UK30, en düşük direnç ise 0.04221 kΩm değeri ile REF olmuştur. Numunelerin dirençleri incelendiğinde CT ve UK oranları arttıkça direnç değerleri de artmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde numuneler 56 günlük yaşlarının sonunda REF direncini geçmeyi başarmış ve daha sonraki yaşlarında büyük artışlar gerçekleştirmiştir. Erken yaşlarda CT numuneleri UK numunelere göre daha fazla direnç gösterirken, 56 günlük yaşı ve daha sonrasında UK numuneleri daha fazla direnç göstermeye başlamıştır. Bu durum 0.1 kHz frekans da olduğu gibi dirençlerde birbirine oldukça yakın sonuçlar göstermiştir.



Şekil 7. Numunelerin 0.12 kHz frekansına ait elektriksel öz direnç ile numune yaşı arasındaki ilişki.

Harç numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda 1 kHz ölçümlerine göre elde edilen Elektriksel öz direnç değerlerine ait veriler Şekil 8’de verilmiştir.

7 günlük sonuçlar incelendiğinde REF numunesinin direnci 0.04077 kΩm ölçülmüştür. UK numuneleri REF direncinden daha düşükken CT numuneleri daha yüksek sonuçlar alınmıştır. 7 günlük en yüksek dirence sahip CT20 numunesi 0.04083 kΩm, en düşük direnç ise 0.04063 kΩm ile UK30 olmuştur. 0.1 ve 0.12 frekanslarında olduğu gibi UK ve CT numuneleri benzer sonuçlar vermiştir, UK numuneleri %20 de düşüş gerçekleşip %30 da artarken, CT numuneleri %20 de artış %30 da düşüş olmuştur.

14 günlük sonuçlarda REF numunesinin direnci 0.04103 k $\Omega$ m ölçülmüş ve 7 günlük numuneye göre artış gerçekleşmiştir. En yüksek direnç ise 0.04105 k $\Omega$ m ile UK30, en düşük direnç ise 0.04083 ile UK10 olmuştur. 0.1 ve 0.12 frekanslarında olduğu gibi benzer sonuçlar göstermiştir ve frekans arttıkça dirençlerde düşüşler olmuştur.

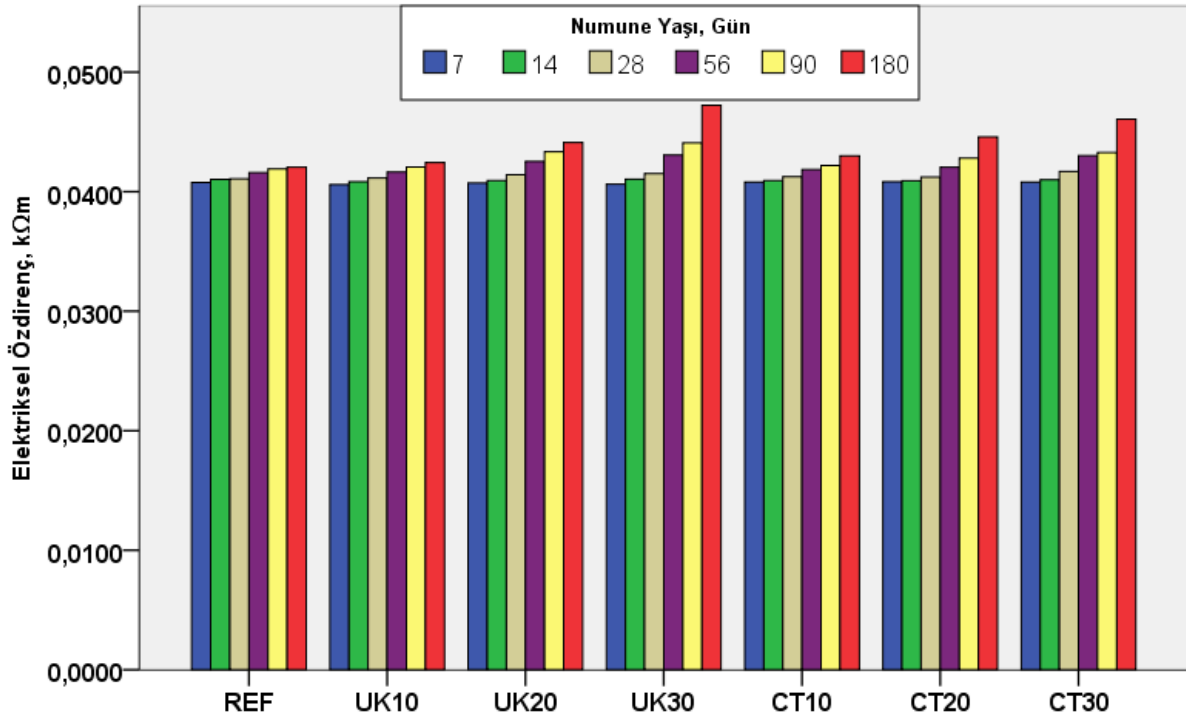
28 günlük sonuçlarda REF numunesinin direnci 0.04108 k $\Omega$ m ölçülmüştür ve tüm numuneler REF'e oranla daha fazla direnç göstermeye başlamıştır. En yüksek dirence sahip numune 0.04169 k $\Omega$ m değeri ile CT30, en düşük direnç ise 0.04108 ile REF olmuştur. 0.1 ve 0.12 frekanslarından farklı olarak daha erken REF direncini geçmeye başlamıştır. UK numuneleri oran arttıkça direnci artarken, CT numunelerinde %20 de düşüş gerçekleşip %30 da artış göstermektedir.

56 günlük numunelerde REF 0.04156 k $\Omega$ m değerini okunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde 28 günlük numunelere kıyasla daha fazla direnç göstermektedir. 56 günlük sonuçlarda en yüksek dirence sahip numune 0.04302 k $\Omega$ m ile UK30, en düşük direnç ise 0.04156 k $\Omega$ m ile REF olmuştur. UK ve CT numuneleri oran arttıkça direnç değerleri de artış göstermiştir. Bu durum diğer frekanslarda olduğu gibi 56 günlük yaşından sonra gerçekleşmiştir.

90 günlük numunelerde REF numunesi 0.04190 k $\Omega$ m değeri göstermektedir. Sonuçlarda 56 günlük numunelere kıyasla daha yüksek direnç sahip oldukları görülmektedir. 90 günlük sonuçlarda en yüksek dirence sahip numune 0.04408 k $\Omega$ m ile UK30 olurken en düşük direnç ise 0.04190 k $\Omega$ m ile REF numunesi olmuştur. Diğer frekanslarda olduğu gibi UK ve CT oranları arttıkça direnç değeri de artmıştır.

180 günlük numunelerde REF numunesi 0.04205 k $\Omega$ m değeri görülmektedir ve bu değer REF numuneleri içerisinde en fazla dirence sahip olmuştur. 180 günlük numune sonuçlar diğer yaşlardaki sonuçlarla kıyaslandığında her oran için en yüksek dirençler bu yaşta görülmektedir. Bu da yaş arttıkça numunelerin göstermiş olduğu dirençte artmış olduğunu göstermektedir. 180 günlük numunelerde en yüksek direnç 0.04723 k $\Omega$ m ile UK30 olurken en düşük değer ise 0.04205 k $\Omega$ m değeri ile REF olmuştur. UK ve CT numuneleri oran arttıkça direnç de artmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde numune yaşının artması direnci de arttırmıştır. Diğer frekanslardan farklı olarak REF numunesinin direncinden daha yüksek dirence 28 gün de ulaşmıştır.



Şekil 8. Numunelerin 1 kHz frekansına ait elektriksel özdirenç ile numune yaşı arasındaki ilişki.

Harç numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda 10 kHz ölçümlerine göre elde edilen Elektriksel özdirenç değerlerine ait veriler Şekil 9’de verilmiştir.

7 günlük sonuçlarda REF numunesi 0.04073 kΩm ve UK10, 20, 30 sırayla 0.04056 kΩm, 0.04069 kΩm, 0.04059 kΩm değerini okunmuştur. CT10, 20 ve 30 numuneleri sırayla 0.04077 kΩm, 0.04077 kΩm ve 0.04076 kΩm değeri okunmuştur. 7 günlük değerlerde en yüksek dirence sahip numune 0.04077 kΩm ile CT10 ve CT20 olurken en düşük değer 0.04056 kΩm değeri ile UK10 olmuştur. UK numuneleri %20 de artış göstermiş ama %30 da düşüş gerçekleşmiştir. CT numunelerinin dirençleri birbirlerine çok yakın sonuçlar göstermiştir.

14 günlük sonuçlar incelendiğinde REF numunesi 0.04096 kΩm direnç göstermiştir. 14 günlük yaşında en fazla dirence sahip numune 0.04098 ile UK30, en düşük direnç ise 0.04078 ile UK10 olmuştur. UK numuneleri oran arttıkça direnç de artmıştır. CT numunelerinde ise %20 düşüş gerçekleşirken %30 da artış olmuştur.

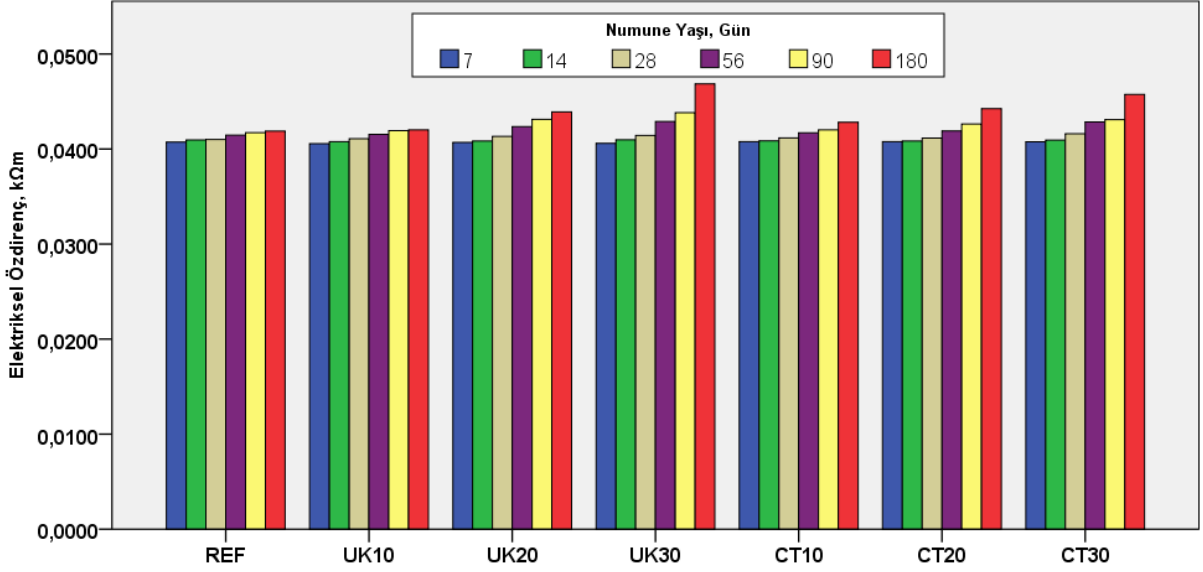
28 günlük sonuçlarda tüm numuneler REF değerini geçmiştir. Bu durum 1 kHz ile benzerlik göstermektedir. 28 günlük değerlerde REF numunesi 0.04100 kΩm okunmuştur. En fazla dirence sahip numune 0.04160 kΩm ile CT30 olurken, en düşük direnç ise REF numunesinde gerçekleşmiştir. UK numunelerinde oran arttıkça direnç artarken, CT numunelerinde %20 küçük bir düşüşün ardından artış gerçekleşmiştir.

56 günlük sonuçlarda 28 günlük sonuçlarda olduğu gibi tüm numuneler REF değerini geçmiştir. 56 günlük sonuçlarda REF değeri 0.04146 kΩm olarak ölçülmüştür. En yüksek direnç 0.04289 kΩm ile UK30 da olurken, en düşük direnç ise REF numunesinde gerçekleşmiştir. Diğer frekanslarda olduğu gibi UK ve CT numuneleri 56 günlük yaşının ardından her ikisinin de oranı arttıkça dirençleri de artmış olduğu görülmektedir.

90 günlük sonuçlarda REF numunesi 0.04173 kΩm değeri okunmuş ve 90 günlük sonuçlar içerisinde en düşük sonuç alınan numune olmuştur. En yüksek direnç ise 0.04383 kΩm ile UK30 göstermektedir. Numunelerde UK ve CT oranları arttıkça direnç değerleri de artış göstermiştir.

180 günlük sonuçlarda REF numunesi 0.04189 k $\Omega$ m değeri okunmuş ve 180 günlük sonuçlar içerisinde en düşük sonuç alınan numune olmuştur. En yüksek değer 0.04686 k $\Omega$ m ile UK30 olmuştur. Bu aynı zamanda 10 kHz frekansında alınan en yüksek direnç değeridir. CT ve UK numuneleri oran arttıkça direnç değerleri artış göstermiştir.

Elektriksel özdirenç değerleri genel olarak ele alındığında frekanslar da görülen sonuçlara benzer veriler elde edilmiş. Frekansın artmasıyla birlikte dirençlerde azalma meydana gelmiştir. Bilindiği gibi frekans, bir AC sinyalinin saniyedeki devir sayısıdır. Çimento esaslı sistemlerde boşluklu çözeltilerde iyon transferi nedeniyle elektriksel iletkenlik oluşur ve artan frekansla iyon transferi hızlanır. Bu nedenle frekans artışı ile direnç azalmaktadır [59].



Şekil 9. Numunelerin 10 kHz frekansına ait elektriksel özdirenç ile numune yaşı arasındaki ilişki.

## IV. SONUÇ

- Numunelere ait yayılma değerleri incelendiğinde, UK eklenmesi ile REF numuneye oranla yayılma çaplarında artış gözlemlenmiştir. CT %10 oranının da kullanıldığında yayılma çapı azalırken oranın artmasıyla birlikte yayılma çaplarında artış gözlemlenmiştir.
- CT ve UK ile üretilen numunelerin 7, 14, 28, 56, 90 ve 180 günlük eğilme dayanım verilerine bakıldığında, tüm yaşlarda CT ve UK ile üretilen numuneler REF değerini geçememiştir. UK ve CT kendi aralarında incelendiğinde ise tüm yaşlarında UK ve CT oranı arttıkça eğilme de düşüşler gerçekleşmiştir. Genel olarak bakıldığında ise yaş arttıkça numunenin eğilme dayanımı da artmıştır. Bu durumda eğilme dayanımı yaş ile doğru orantılı diyebiliriz.
- CT ve UK ile üretilen numunelerin 7, 14, 28, 56, 90 ve 180 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, tüm yaşlarda CT ve UK ile üretilen numuneler REF değerini geçememiştir. UK ve CT numunelerinde ise yaş ilerledikçe numunelerin basınç dayanımlarında artış gerçekleşmiştir. UK ve CT birbirleriyle kıyaslandığında ise tüm yaşlarda UK numuneleri daha fazla dayanım göstermiştir. UK ve CT numunelerinde oran arttıkça numunenin basınç dayanımı tüm yaşlarda azalma göstermektedir.
- 7, 14, 28, 56, 90 ve 180 günlük elektriksel özdirenç verileri incelendiğinde, tüm frekanslarda 180 günlük UK30 numuneleri en yüksek direnci vermiştir. Bunlar sırayla 0.04755 k $\Omega$ m, 0.04754 k $\Omega$ m, 0.04723 k $\Omega$ m, 0.04686 k $\Omega$ m özdirençleri olmuştur.

- 0.1 ve 0.12 kHz frekansları benzer özellikler göstermiştir. Her ikisinde de dirençler 56 günlük yaşlarında REF direncini geçmeye başlamıştır. CT numuneleri erken yaşlarda UK'dan daha yüksek direnç gösterirken, orta ve ileri yaşlarda UK numuneleri CT den daha fazla direnç göstermiştir. 1 ve 10 kHz frekansları da benzer özellikler göstermiş ve her ikisinde de 28 günlük yaşlarında REF direncini geçmeye başlamıştır.
- Genel olarak elektriksel özdirenç verileri incelendiğinde ise erken yaşlarda REF direnci daha yüksek olurken ilerleyen yaşlarında UK ve CT numuneleri bu direnci geçebilmiştir. UK ve CT numunelerinde yaş arttıkça gösterilen özdirenç de artmıştır. Bu durumda bize UK ve CT katkılı numuneler de yaş arttıkça elektriksel özdirenç değerlerinin arttığı söylenebilir.

Sonuç olarak CT ve UK ile üretilen numunelerde çimento yerine kullanılan mineral katkıları, çimento miktarını azaltmasıyla daha ekonomik numuneler üretmeye olanak sağlamıştır. Aynı zamanda geri dönüşüm açısından da verimli sonuçlar elde etmiş oluruz. Yapılan deneylerde elde edilen veriler incelendiğinde, UK ve CT ile üretilen numunelerin kullanılabileceğinden bahsedebiliriz. CT kullanılan numunelerde basınç dayanımları ele alındığında 180 günlük verilerde CT30 numunesi %27'lik bir basınç dayanım kaybı olduğu görülmüştür. Bu durumda CT numunesinin %30 için ideal olmadığı sonucuna varılmıştır. CT30 numunesinin eğilme dayanımı da göz önüne alınınca 180 günlük eğilme sonuçlarında en düşük eğilme CT30 numunesinde görülmüştür. Bu durumlar göz önüne alınınca, farklı kimyasal ve mineral katkıları kullanılarak CT ve UK'nın çeşitli mühendislik özelliklerine etkisi araştırılabilir.

## **V. KAYNAKLAR**

- [1] S. Shaikuthali, M. Mannan, E.T. Dawood, D. Teo, R. Ahmadi, I. Ismail, "Workability and compressive strength properties of normal weight concrete using high dosage of fly ash as cement replacement," *J. Build. Pathol. Rehabilitation*, vol. 4 no.1, pp. 26, 2019.
- [2] C. Valderrama, R. Granados, J.L. Cortina, C.M. Gasol, M. Guillem, "Josa Implementation of best available techniques in cement manufacturing: a life-cycle assessment study," *J Clean Prod*, vol. 25, pp. 60-67, 2012.
- [3] A. Josa, A. Aguado, A. Cardim, E. Byars, "Comparative analysis of the life cycle impact assessment of available cement inventories in the EU," *Cement Concr Res*, vol. 37 no. 5, pp. 781-788, 2007.
- [4] M. Uysal, M.M. Al-mashhadani, Y. Aygörmez, O. Canpolat, "Effect of using colemanite waste and silica fume as partial replacement on the performance of metakaolin-based geopolymer mortars," *Construction and Building Materials*, vol. 176, pp. 271-282, 2018.
- [5] X. Liang, C. Wu, Y. Su, Z. Chen, Z. Li, "Development of ultra-high-performance concrete with high fire resistance," *Construction and Building Materials*, vol. 179, pp. 400-412, 2018.
- [6] M. Rafieizonooz, J. Mirza, M.R. Salim, M.W. E. Hussin, "Khankhaje Investigation of coal bottom ash and fly ash in concrete as replacement for sand and cement," *Construct Build Mater*, vol. 116, pp. 15-24, 2016.
- [7] A.M. Hakamy, "Microstructural design of high-performance natural fibre-nanoclay-cement nanocomposites," Curtin University, Australia, 2016.
- [8] G.F. Huseien, A. R. M. Sam, K. W. Shah, J. Mirza, M. M. Tahir, "Evaluation of alkaliactivated mortars containing high volume waste ceramic powder and fly ash replacing GBFS," *Construction and Building Materials*, vol. 210, pp. 78-92, 2019.



- [9] J. Temuujin, E. Surenjav, C.H. Ruescher, J. Vahlbruch, “Processing and uses of fly ash addressing radioactivity (critical review),” *Chemosphere*, vol. 216, pp. 866-882, 2019.
- [10] M. Saafi , K. Andrew , PL Tang , D. McGhon , S. Taylor , M. Rahman , S. Yang , X. Zho, “Multifunctional properties of carbon nanotube/fly ash geopolymeric nanocomposites,” *Construction and Building Materials*, vol. 49, pp. 46–55, 2013.
- [11] N. Ranjbar , M. Mehrali , M. Mehrali , UJ Alengaram , MZ Jumaat, “Graphene nanoplatelet-fly ash based geopolymer composites,” *Cement and Concrete Research*, vol. 76, pp. 222–231, 2015.
- [12] H. Xiyili , S. Çetintaş , D. “Bingöl, Removal of some heavy metals onto mechanically activated fly ash: Modeling approach for optimization, isotherms, kinetics and thermodynamics” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 109, pp. 288 – 300, 2017.
- [13] Y. Hefni , YAE Zaher , MA Wahab, “Influence of activation of fly ash on the mechanical properties of concrete,” *Construction and Building Materials*, vol. 172, pp. 728–734, 2018.
- [14] D.P. Bentz, J. Tanesi, A. Ardani, “Ternary blends for controlling cost and carbon content,” *Concr. Int.*, vol. 35 no. 8, pp. 51-59, 2013.
- [15] L. Gurney, D.P. Bentz, T. Sato, W.J. Weiss, “Using limestone to reduce set retardation in high volume fly ash mixtures: improving constructability for sustainability” *Concr. Mater.*, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board No 2290 pp. 139-146, 2012.
- [16] D.P. Bentz, T. de la Sato, I. Varga, W.J. Weiss, “Fine limestone additions to regulate setting in high volume fly ash mixtures,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 34, pp.11-17, 2012.
- [17] R. Yu, D. Van Onna, P. Spiesz, Q. Yu, H. Brouwers, “Development of ultra-lightweight fibre reinforced concrete applying expanded waste glass,” *J Clean Prod*, vol. 112, pp. 690-701, 2016.
- [18] A. Shayan, A. Xu, “Value-added utilisation of waste glass in concrete,” *Cement Concr Res*, vol. 34 no. 1, pp. 81-89, 2004.
- [19] G. Vijayakumar, H. Vishaliny, D. Govindarajulu, “Studies on glass powder as partial replacement of cement in concrete production,” *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 153-157, 2013.
- [20] G.S. Islam, M. Rahman, N. Kazi, “Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice,” *Int. J. Sustain. Built Environ.*, vol. 6 no. 1, pp. 37-44, 2017.
- [21] K. Liang, X. Zeng, X. Zhou, F. Qu, P. Wang, “A new model for the electrical conductivity of cement-based material by considering pore size distribution,” *Mag. Concr. Res.*, vol. 69 no. 20, pp. 1067-1078, 2017.
- [22] K. Liang, X. Zeng, X. Zhou, C. Ling, P. Wang, K. Li, S. Ya, “Investigation of the capillary rise in cement-based materials by using electrical resistivity measurement,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 173, pp. 811-819, 2018.
- [23] R. Masoodi, K.M. Pillai, “Wicking in Porous Materials: Traditional and Modern Modeling Approaches CRC Press”, 2012.
- [24] C. Hall, W.D. HoffWater, “Transport in Brick, Stone and Concrete,” *CRC Press*, 2011.
- [25] L. Zhao, X. Liu, H. Zhao, “The study of influence on track stress caused by the cracking at wide juncture of CRTS II prefabricated slab track” *J Railw Sci Eng.*, vol. 13 no. 1, pp. 9–14, 2016.

- [26] D.A. Whiting, M.A. Nagi, "Electrical resistivity of concrete-a literature review," *R&D Serial*, vol. 2457, 2003.
- [27] F. Rajabipour, J. Weiss, "Electrical conductivity of drying cement paste," *Mater. Struct.*, vol. 40 no. 10, pp. 1143-1160, 2007.
- [28] S. Tang, X. Cai, Z. He, W. Zhou, H. Shao, Z. Li, T. Wu, E. Chen, "The review of pore structure evaluation in cementitious materials by electrical methods," *Constr. Build. Mater.*, vol. 117, pp. 273-284, 2016.
- [29] R. He, H. Ma, R. B. Hafiz, C. Fu, X. Jin, J. He, "Determining porosity and pore network connectivity of cement-based materials by a modified non-contact electrical resistivity measurement: Experiment and theory," *Mater. Des.*, vol. 156, pp. 82-92, 2018.
- [30] O.E. Gjørsv, Ø.E. Vennesland, A.H.S. El-Busaidy, "Electrical "Resistivity of Concrete In The Oceans," *Offshore Technology Conference, Houston, TX, ABD*, 05 May. 1977.
- [31] R. Polder, "Test methods for onsite measurement of resistivity of concrete — a RILEM TC-154 technical recommendation," *Construction and Building Materials*, vol. 15 pp. 125–131, 2001.
- [32] L. Bertolini, B. Elşener, P. Pedferri, R. Polder, "Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair, 2nd Edition" *Wiley Blackwell: Weinheim, Almanya*, ISBN 9783527603374, 2005.
- [33] T.C. Hou, V.K. Nguyen, Y.M. Su, Y.R. Chen, P.J. Chen, "Effects of coarse aggregates on the electrical resistivity of Portland cement concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 133, pp. 397–408, 2017.
- [34] T.K. Simon, V. Vass, "The electrical resistivity of concrete". *Concrete Structures*, pp. 61-65, 2012.
- [35] M. Colleparidi, "New Concrete ; Tintoretto: Lancenigo" İtalya, 2010; ISBN 88-903777-2-0.
- [36] B. Dong, J. Zhang, Y. Wang, G. Fang, Y. Liu, F. Xing, "Evolutionary trace for early hydration of cement paste using electrical resistivity method," *Construction and Building Materials*, vol. 119, pp. 16-20, 2016
- [37] W. Lopez, J.A. Gonzalez, C. Andrade, "Influence of temperature on the service life of rebars," *Cement and Concrete Research*, vol. 23, pp. 1130-1140, 1993.
- [38] R.M. Ferreira, S. Jalali, "NDT measurements for the prediction of 28-day compressive strength," *NDT E Int.*, vol. 43, pp. 55–61, 2010.
- [39] B.B. Hope, A.C. Ip, "Corrosion of steel in concrete made with slag cement," *ACI Mater. J.*, vol. 84, pp. 525–531, 1987.
- [40] J. Bijen, "Benefits of slag and fly ash," *Constr. Build. Mater.* Vol 10, pp. 309–314, 1996.
- [41] G. Adil, J.T. Kevern, D. Mann, "Influence of silica fume on mechanical and durability of pervious concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 247, pp. 118453, 2020.
- [42] T.H. Wee, A.K. Suryavanshi, S.S. Tin, "Evaluation of rapid chloride permeability test (RCPT) results for concrete containing mineral admixtures," *ACI Struct. J.*, vol. 97, pp. 221-232, 2000.

- [43] J. Donnini, T. Bellezze, V. Corinaldesi, “Mechanical, electrical and self-sensing properties of cementitious mortars containing short carbon fibers,” *J. Build. Eng.*, vol. 20, pp. 8-14, 2018.
- [44] C.G. Berrocal, K. Hornbostel, M.R. Geiker, I. Löfgren, K. Lundgren, D.G. Bekas, “Electrical resistivity measurements in steel fibre reinforced cementitious materials,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 89, pp. 216-229, 2018.
- [45] M. Chiarello, R. Zinno, “Electrical conductivity of self-monitoring CFRC,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 27, pp. 463–469, 2005.
- [46] H.W. Whittington, J. McCarter, M.C. Forde, “The conduction of electricity through concrete,” *Mag. Concr. Res.*, vol. 33, pp. 48–60, 1981.
- [47] *Beton agregaları*, Türk Standartlar Enstitüsü TS 706 EN 12620+A1, 2009.
- [48] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini*, Türk Standartlar Enstitüsü, TS EN 1097-6, 2013.
- [49] *Beton-Karma Suyu-Numune Alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 1008, 2003.
- [50] *Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 197-1, 2012.
- [51] *Standard Specification for Coal Fly Ash And Raw Or Calcined Natural Pozzolan For Use In Concrete*, ASTM International Standard ASTM C 618-19, 2019.
- [52] *Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 196-1, 2016.
- [53] *Kagir harcı - Deney metotları - Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile)*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 1015-3, 2000.
- [54] *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 4: Basınç dayanımı - Deney makinelerinin özellikleri*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 12390-4, 2002.
- [55] *Standard test method for bulk electrical conductivity of hardened concrete. West Conshohocken (PA)*, ASTM International Standard, ASTM C 1760, 2012.
- [56] K.I.M. Ibrahim, “Recycled waste glass powder as a partial replacement of cement in concrete containing silica fume and fly ash” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 15, 2021.
- [57] O. Sengul, “Use of electrical resistivity as an indicator for durability,” *Construction and Building Materials*, vol. 73, pp. 434–441, 2014.
- [58] C.T. Chen, J.J. Chang, W. Yeih, “The effects of specimen parameters on the resistivity of concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 71, pp. 35–43, 2014.
- [59] K. Güçlüer, “Polimer Katkılı Harçların Mekanik ve Elektriksel Özdirenç Özelliklerinin Araştırılması” *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 9 s. 4 ss.1649-1654, 2020.
- [60] T. Uygunoğlu, İ.B. Topçu, B. Şimşek, E. Çınar, “Kendiliğinden yerleşen harçların elektriksel özdirenç üzerine mineral katkıların etkisi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 22 s. 2, ss. 986-992, 2018.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Lastik Karışımlarında Klasik ZnO Yerine Aktif ZnO Kullanımının Bazı Fizikomekanik Özelliklere Etkilerinin Araştırılması

 Gasim Altundal<sup>a\*</sup>,  Esra Çetin<sup>a</sup>,  Metin Kuru<sup>a</sup>,  Tuğçe Görmüşer<sup>a</sup>,  Hüsnü Gerengi<sup>b</sup>,  
 İlyas Uygur<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Düzce ANLAS Lastik Fabrikası, Düzce/Türkiye

<sup>b</sup>Düzce Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce/Türkiye.

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gasimaltundal@anlas.com.tr

DOI: 10.29130/dubited.1116820

### ÖZ

Kauçuk esaslı ürünlerin imalatında kullanılan katkı malzemeleri; zamana, maruz kaldığı fiziksel ve kimyasal etkilere bağlı olarak üründen kısmen ayrılmaktadırlar. Ortamdan ayrılan bu katkı malzemeleri imal edilen mamulün performansını ve uzun sürede kullanım ömrünü azaltmaktadır. Bu çalışmada aktif ZnO ile normal ZnO kullanılarak üretilen kauçuk malzemelerin maliyet –performans özellikleri incelenmiştir. Bulgular daha yüksek yüzey alanına sahip aktif ZnO tercihiyle, mekanik testlerde %20, toplam mamul ağırlığında %5 ve maliyette %2'e varan bir farklılık hesaplanmıştır.

**Keywords:** Aktif ZnO; Aktivatör; Kauçuk; Fizikomekaniksel özellikler

## Investigation of the Effects of Active ZnO Instead of Conventional ZnO on Some Physico- mechanical Properties in Tires Compounds

### ABSTRACT

Additives used in the manufacture of rubber-based products which they are partially separated from the product depending on the time, the physical and chemical effects it is exposed to. These additives, which are separated from the products, reduce the performance and long-term useful life of the manufactured product. In this study, the cost-performance properties of rubber materials produced using active ZnO and normal ZnO were investigated. Results revealed differences of up to 20% in mechanical tests, 5% in total product weight, and 2% in cost, with a preference for active ZnO with a higher surface area.

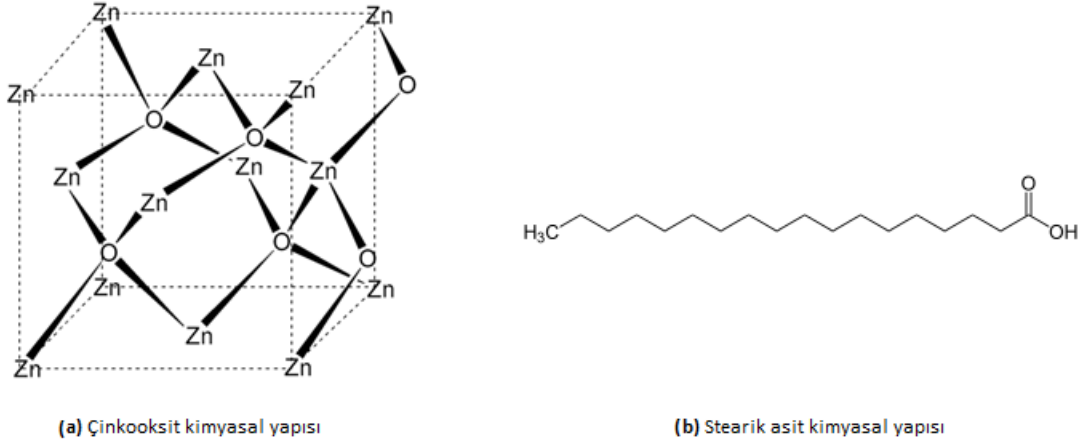
**Keywords:** Active ZnO, Activator, Rubber, Physico-Mechanical properties

## I. GİRİŞ

Hevea brasiliensis adı ile bilinen ve kauçuk ağacından elde edilen latex, doğal bir polimer olup, bazı özel ısı işlemlere tabi tutularak elde edilen doğal kauçuk ve suni kauçuğun yanı sıra yağlar, koruyucular, process yardımcıları, hızlandırıcılar gibi bir çok katkı maddesi kullanılarak araç lastikleri üretilmektedir [1].

Kauçuk malzemelerin vulkanizasyonu için hızlandırıcı adı verilen organik maddelere ihtiyaç vardır. Vulkanizasyon işlemini hızlandıran ve çoğu zaman fiziksel özelliklere önemli ölçüde etki eden bu

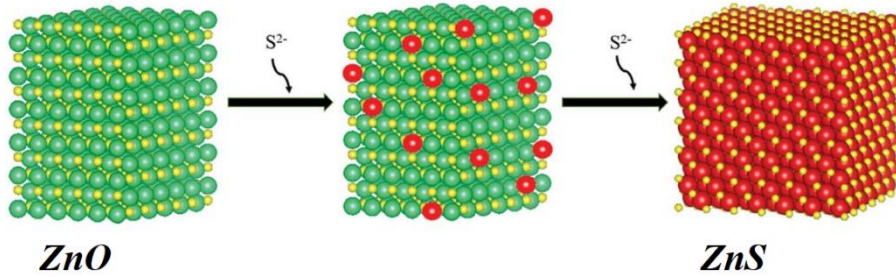
maddeler, işlevlerini tam olarak yerine getirebilmeleri için, ilave katkılara gereksinim duyarlar. Hızlandırıcı ve kükürt arasında bağ kurulmasını sağlayan bu maddelere, aktivatör denir. Etkinlikleri, aktivatörün cinsine göre değişen bu maddelerin başında ise metal oksitleri ve yağ asitleri gelmektedir. En çok kullanılan aktivatörler çinko oksit ( ZnO ) ve stearik asit ( CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>16</sub>COOH ) çiftidir ( Şekil 1 ).



Şekil 1. (a) ZnO ve (b) Stearik asit kimyasal yapısı.

Bu aktivatörlerin tüketiminin büyük bir kısmı lastik ve plastik endüstrisinde kullanılmaktadır. Avrupa Birliği Risk Değerlendirme Raporu'na göre ZnO ağır metal oksitler sınıfında yer alsada belirli limitler dahilinde canlılar için gerekli bir mineraldir. Fazla miktarda ZnO, lastiğin aşınması sonucunda veya üretimi sırasında yağmur sularına karışarak kirlilik nedeni olduğu ve bunun önlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Çünkü ZnO özellikle su yosunları üzerinde toksik bir etkiye sahiptir. Çevresel etkileri ve ekonomik nedenlerden dolayı ZnO'nun çevreye salınımı kontrol altında olmalıdır. [2].

Kauçuk esaslı mamul üretiminin vulkanizasyon sürecinde; reaksiyona girmeyen ZnO, kükürt ile reaksiyona girerek ZnS bileşiğini oluşturur (Şekil 2) [3]. ZnS bileşiği kalıplara yapışarak kirliliğe neden olduğu için üretim verimliliğini olumsuz etkilemektedir [2].



Şekil 2. Vulkanizasyon süreci sonunda oluşan ZnS.

ZnO, ayrıca UV stabilizatörü ve biyosidal aktiviteye sahip bir katkı maddesi olarak da yaygın olarak kullanılmaktadır. [4].

Bitmiş üründe görünmez biçimde kalan çinko, uzun süredir kauçukta temel bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Kauçuk ürünleri imalatında yaygın olarak kullanılan ilk pigmentlerden biridir [5].

Çinko oksit, ıslak (kimyasal) yöntemle ek olarak iki termal yöntemle üretilir. İki termal yöntem, ham maddenin kalsine cevher veya cüruf şeklinde çinko oksit veya metalik çinko olmasına bağlı olarak direct (Amerikan) ve indirect (Fransız) olarak bilinir [6].

İndirekt (Fransız) proses, tarihsel olarak daha eskidir, ancak bugün direkt (Amerikan) prosesin sadece yaklaşık yarısı kadar çinko oksit üretmek için kullanılmaktadır. Fransız proses çinko oksit, Amerikan proses çinko oksitten daha saf ve daha incedir, ancak Fransız süreci Amerikan prosesinden daha maliyetlidir. Kimyasal (ıslak) işlem, termal işlemlere göre çok maliyetlidir, bu nedenle endüstriyel alanda fazla kullanılmamaktadır [7].

Yüzey alanı ZnO'nun aktifliğini belirleyen bir parametredir. Yüzey alanı 30-70 m<sup>2</sup>/g arasında olan ZnO'lar aktif, yüzey alanı 1-6 m<sup>2</sup>/g arasında olanlar ise konvansiyonel (klasik) ZnO'lar olarak üretilirler. Aktif ZnO iyi karışabilme özelliğine sahiptir ve yüksek yüzey alanı nedeniyle daha az miktarlarda kullanılması yeterli olmaktadır [8]-[10].

Bu çalışmada, aktif ZnO'nun 10, 7,5 ve 5 phr kullanılan karışımları ile 10 phr klasik ZnO kullanılan karışımın reolojik ve fizikomekaniksel özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

## **II. MATERYAL VE METOT**

Anlas Lastik Fabrikası Ar-Ge laboratuvarlarında hazırlanan reçete dizaynlarında kauçuk türü olarak Emulsion-Stiren Bütadien (E-SBR) ve doğal kauçuklar kullanılmıştır.

Aktivatör olarak, Tablo 1'de özellikleri verilen konvansiyonel (klasik) ve aktif ZnO kullanılmıştır. Proses kolaylaştırıcı olarak proses yağlarından işlenmiş distile aromatik ekstrakt (TDAE) kullanılmıştır.

*Tablo 1.* Klasik ve Aktif ZnO ya iat bazı özellikler.

<b>Parametre (%)</b>	<b>Klasik ZnO</b>	<b>Aktif ZnO</b>
ZnO	99.9	92
Pb	0.005	Max.10ppm
Cd	0.003	Max.10ppm
Cu	0.001	Max.10ppm
Fe	0.005	-
As	0.0005	-
Yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	4.6	50
Ph	7.5-7.3	7.3-7.1
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	5.6	4.5

İki kademe olarak hazırlanan reçetelerde; ana kademe ve son kademe hamurlarının hazırlanmasında açık karıştırıcı roll-mill kullanılmıştır. Ana kademe kauçuklar, dolgular, proses yağları, antidegradantlar, aktivatörler eklenerek karıştırma işlemi yapılmıştır. Son kademe ise, ana kademe hamuruna pişiriciler adı verilen kimyasal grubu (vulkanizasyonu sağlayan kimyasallar ve hızlandırıcılar) katılarak son haline getirilir. Reçete formülasyonlarını hazırlama prosesinin adımları sırayla Tablo 2'de verilmiştir.

*Tablo 2.* Formülasyon hazırlama süreci.

<b>Ana kademe</b>	<b>Süre (dk)</b>
Kauçuklar (NR, SBR)	0
Dolgu maddeleri + Kimyasallar + Proses yağları	3.5- 4
Mil boşaltma	15 – 17.5
<b>Son kademe</b>	<b>Süre (dk)</b>
Ana kademe karışımı	0
Pişiriciler	3 – 3.5
Mil boşaltma	7 – 8.5

Kauçuk karışım reçeteleri phr (Parts Per Hundred Rubber) cinsinden hazırlanmaktadır. Hazırlanan formülasyonlar Tablo 3'de phr cinsinden verilmiştir. Klasik ZnO ile hazırlanan reçeteye Klasik ZnO, aktif ZnO ile hazırlanan reçetelere ise D ile adlandırma yapılmıştır. Klasik ZnO 10 phr kullanılırken, aktif ZnO 10, 7,5 ve 5 phr kullanılmıştır.

*Tablo 3. Reçete formülasyonları.*

Malzeme (phr)	Klasik ZnO	D1	D2	D3
Doğal Kauçuk	30	30	30	30
E-SBR	70	70	70	70
Karbon Siyahı	100	100	100	100
Yağ	12	12	12	12
Klasik ZnO	<b>10</b>			
Aktif ZnO	-	<b>10</b>	<b>7,5</b>	<b>5</b>
Reçine	5	5	5	5
Kükürt	6.25	6.25	6.25	6.25
Hızlandırıcı	1.3	1.3	1.3	1.3

Hazırlanan reçetelerin reolojik özellikleri için reometre testleri Moving Die Rheometer, (MDR), EKTRON MDR 2000S ile ASTM D5289 standardına göre 195°C'de 5 dakika olarak yapılmıştır. Numuneler iki ısıtılmış plaka arasında sıkıştırılmış, izotermal koşullar altında sinüzoidal olarak değişen gerilime maruz bırakılmıştır. Mooney Scorch (SC) testleri, EKTRON MV 2001M cihazı ile ASTM D1646 standardına göre 135°C'de yapılmıştır.

Karışımların fizikomekanik testleri 170°C'de 15 dakika preste pişirilerek hazırlanan plakadan papyon numuneler kesilerek ASTM D412'ye göre Hounsfield H5KS Tensometer cihazı ile yapılmıştır. Sertlik testi ise ASTM D2240'a göre Mitutoyo Shoremetre cihazı ile (Shore A cinsinden) yapılmıştır. Tüm testler en az üç defa tekrar edilerek ortalama değerleri karşılaştırmalar için kullanılmıştır.

### **III. SONUÇLAR**

Farklı bileşime sahip 4 farklı kauçuk karışımına ait fizikomekanik testlerin sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir. Aktif ZnO'nun klasik ZnO'ya göre yarı yarıya kullanımı ile karışım birim fiyatı %2,06 kadar ucuzlamıştır. En düşük yoğunluk değeri de 1.23 g/cm<sup>3</sup> ile D1 numunesinde ölçülmüştür.

MH ve ML değerlerinde, aktif ZnO katkısıyla önemli artışlar gözlenmiştir. Klasik ZnO da MH değeri 26.07 dNm iken, 5 phr aktif ZnO ilave edilen D3 numunesinde 27.03 dNm olarak ölçülmüş ve artan Aktif ZnO katkısıyla 29,7 dNm değerlerine çıkmıştır. Benzer trend ML değerlerinde de gözlenmiştir. Optimum kürlenme zamanı (t90), klasik ZnO da 1:25 dk:sn iken, 10 phr aktif ZnO kullanıldığında 1.15 dk:sn değerine kadar düşmüştür. Mooney viskozite, klasik ZnO'da 36.88 MU iken 10 phr aktif ZnO reçetesinde 42.37 MU değerine çıkmıştır ve 5 phr Aktif ZnO reçetesinde ise klasik ZnO da elde edilen değere yaklaşmıştır. T5 değerlerinde, aynı miktarda kullanıldığında yakın değer elde edilirken, aktif ZnO 5 phr'a düşürüldüğünde artış göstermiştir.

Fizikomekanik test sonuçları incelendiğinde; 136.5 kg/cm<sup>2</sup> kopma dayanımına sahip klasik ZnO reçetesine karşılık, 5 phr aktif ZnO kullanılan D3 numunesinde en iyi değer 177.1 kg/cm<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. % Uzama, klasik ZnO da %169 iken, 5 phr aktif ZnO numunesinde en iyi sonuç %203.9 elde edilmiştir. Benzer şekilde %100 Modulus değeri klasik ZnO'da 79.88 kg/cm<sup>2</sup> iken, D3 numunesinde 82.99 kg/cm<sup>2</sup> değeri elde edilmiştir. Genel anlamda, aktif ZnO aynı miktarda kullanıldığında düşük fizikomekanik değerler görülmüş fakat aktif ZnO miktarı azaltıldıkça yüksek

değerler elde edilmiştir. Ayrıca sertlik değerleri incelendiğinde kısmen değişimler gözlemlense de, yakın değerler elde edildiğinden önemli derecede bir farklılık olmamıştır.

**Tablo 4.** Reçetelerden elde edilen deneysel sonuçlar.

	<b>Klasik ZnO</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>
Fiat (indeks)	100	99,35	98,48	97,94
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1,3	1,23	1,24	1,25
<b>MDR Sonuçları</b>				
MH (dNm)	26,07	29,7	28,2	27,3
ML (dNm)	1,63	2,05	1,84	1,67
t <sub>90</sub> (dk:sn)	1:25	1:15	1:20	1:21
<b>Mooney Scorch Sonuçları</b>				
ML (MU)	36,88	42,37	40,26	38,8
t <sub>5</sub> (dk:sn)	7:22	7:10	7:35	8:28
<b>Fizikomekanik Test Sonuçları</b>				
Kopma Dayanımı(kg/cm <sup>2</sup> )	136,5	128,6	141,0	177,1
Uzama (%)	169	150	185	204
% 100 Modulus (kg/cm <sup>2</sup> )	79,8	66,9	69,0	82,9
Sertlik (Shore A)	80	81	80	79

## **IV. TARTIŞMA**

Lastik imalatında kullanılan kauçuk esaslı malzemelerin içerisine klasik ZnO kullanılmasının sağlık ve çevre açısından zararlarının olduğu bilimsel çalışmalar ile tespit edilmiştir[11], [12]. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Klasik ZnO yerine aktif ZnO kullanılarak, karışımın kilogram başı maliyetinde % 2'ye varan oranda kazanç elde edilebilmektedir. Karışım yoğunluğunu % 5 seviyelerinde düşürerek ürünün ağırlığını azaltma yönünde önemli katkı sağlanmaktadır. Böylece hem daha ucuz hem de daha hafif lastik üretimi mümkün olacaktır.

ML değerleri, karışımın en düşük viskozite değerlerini vermektedir. Bu değerler karışımın prostekti akma davranışının nasıl olacağı hakkında bilgi vermektedir [13]. Viskozitesi düşük olan kolay akar ve enerji kullanımından da kazanç sağlar. 10 phr klasik ZnO ve 5 phr aktif ZnO(D3) kullanılan karışımların ML değerleri yakın elde edilmiştir. Aktif ZnO'nun miktarı arttırıldıkça ML değerleri de artış göstermektedir.

MH değerleri, karışımın vulkanizasyon sonrasındaki en yüksek viskozite değerini vermektedir. Kauçuk numunelerin birleşiminde bulunan karbon ve pişirici grubu kimyasalların MH değerini etkilediği bilinmektedir [13]. 10 phr klasik ZnO ve 5 phr aktif ZnO(D3) kullanılan karışımların MH değerleri yakın elde edilmiştir. Aktif ZnO'nun miktarı arttırıldıkça MH değerleri de artış göstermektedir.

t<sub>90</sub> değeri, karışımın %90 vulkanize (pişme) olması için gerekli süredir. Bu değer pişme süresi ile birlikte birim zamanda üretilebilecek lastik adeti hakkında fikir vermektedir [13]. Aktif ZnO'nun klasik ZnO'ya göre pişirme süresini kısalttığı net bir şekilde görülmektedir.

Mooney testinde elde edilen ML değeri, MDR analizindeki ML değeri ile benzer özellikleri gösterir ancak birim olarak farklıdır [13]. MDR ve Mooney analizlerindeki ML sonuçları birbiri ile benzer doğrultudadır.



t5 değeri, minimum viskozite değerinden 5 birim yükseldiği süreyi göstermektedir [14]. Karışımın pişmeye başladığı zamanı da ifade eden bu değer aktif ZnO miktarı azaldıkça artış gösterdiği görülmektedir.

Kopma dayanımı, malzemenin kopması için gerekli kuvveti göstermektedir. Malzemenin uzama yüzdesi de elastikiyet özelliğinin bir göstergesidir [13]. Modulus 100 değeri, karışımın % 100 uzamaya ulaşması için gerekli kuvvettir. Kopma, uzama ve modulus değerleri ürünün kullanım koşullarındaki performansını etkiler. Kullanılan yere göre genelde kopma ve uzama değerlerinin yüksek ama modulus değerlerinin ise belli değerler arasında olması istenmektedir. 5 phr aktif ZnO kullanılan reçetede kopma ve uzamada sırasıyla %30 ve %21 oranında artan değerler elde edilmiş ve modulus olarak da klasik ZnO ile yakın değerler elde edilmiştir.

Sertlik değeri, kauçuk karışımlarının sertlik derecesi hakkında bilgi verir. Shore A cinsinden ölçülür ve kullanıldığı koşullara göre belirlenir. Yapılan reçetelerde sertlik değerlerinde yakın değerler ölçülmüştür.

Bu çalışmada, 10 phr klasik ZnO kullanılan reçeteye en yakın ve iyi değerler 5 phr aktif ZnO reçete ile elde edilmiştir. Böylece D3 reçetesi kullanılarak daha ucuz, daha hafif, çevreye duyarlı ve çok daha iyi fizikomekanik özelliklere sahip lastik karışımı sonuçları elde edilmiştir.

## **V. ÇIKARIM**

Bu çalışmada Klasik ZnO ve değişik oranlarda aktif ZnO kullanılarak doğal ve E-SBR kauçuk esaslı karışımlar üretilmiş ve bu numunelerin MDR, SC, sertlik ve fizikomekanik testleri ışığında aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir.

1. En düşük yoğunluk, D1 reçetesinde elde edilmiştir fakat D3 reçetesinde de belli oranda yoğunluk düşmüştür. Böylece aktif ZnO kullanılan reçetelerle daha hafif ürünler üretilebilecektir.
2. En az maliyetli reçete, D3 ile gösterilen formülasyonda elde edilmiştir.
3. En kısa kürlenme zamanı D1 numunesinde gözlemlenmiştir ve D3 numunesinde de klasik ZnO ya göre kürleme zamanında kısalma olduğu için verimlilik açısından katkı sağlayacaktır. Aktif ZnO kullanılan reçetelerle klasik ZnO'ya göre az da olsa pişirme zamanı kısaltılarak daha çok ürün eldesi ve enerjiden kazanç sağlanabilir.
4. Fizikomekanik test sonuçlarında, en yüksek değerler yine D3 numunesinde ölçülmüştür. Böylece az miktarda ZnO kullanarak ürünün çalışma koşullarında klasik ZnO'ya göre daha iyi performans sağlanabilir.
5. Yüksek oranda Aktif ZnO kullanımı, mekanik ve diğer özelliklerde değişikliklere sebep olmuştur. Bunun nedeni, tanecik boyutunun küçüklüğünden kaynaklı olarak karıştırma esnasında zor dağılıyor olabilir.
6. Farklı oranlarda aktif ZnO kullanımı klasik ZnO kullanmış numuneler ile karşılaştırıldığında sertlik değerlerinde önemli bir değişime sebep olmamıştır.
7. Aktif ZnO'nun klasik ZnO ile aynı değerleri vermemesi
8. D2 ve D3 reçetelerimizde alınan sonuçlar, literatür kısmında belirtilen aktif ZnO'nun klasik ZnO'ya göre daha az miktarlarda kullanılmasıyla yakın özellikler sağlanabildiğini göstermektedir. Böylece daha az hammadde kullanımının getireceği CO<sub>2</sub> salınımının, stok maliyetlerinin azaltılması gibi bir çok konuda dolaylı yoldan avantajları da beraberinde getirecektir.
9. Seri üretimde, klasik ZnO yerine daha az miktarda aktif ZnO kullanılarak daha ucuz, hafif, çevreci ve mekanik özelliklere sahip lastik karışımları imalatı mümkün olabilmektedir.

**TESEKKÜR:** Bu çalışma, ANLAS Anadolu Lastik San. Ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezinde gerçekleştirilmiştir.

## **VI. KAYNAKLAR**







- [1] H. Gerengi, H.Goksu, Plastik Malzeme Teknolojisi, 1. Baskı, Ankara, Türkiye, Seçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar, 2019, ss. 28-30.
- [2] J. Walter, “In recent years the presence of zinc oxide in the tread compounds has come under growing scrutiny because of environmental concerns,” *Tire Tech. Int.* vol. 18, pp. 18-19, 2009.
- [3] P. Banerjee, P. K. Jain, “Mechanism of sulfidation of small zinc oxide nanoparticles,” *RSC Adv.*, vol. 8, pp. 34476–34482, 2018.
- [4] M. Rashvand, Z. Ranjbar, S. Rastegar, “Nano zinc oxide as a UV-stabilizer for aromatic polyurethane coatings,” *Progress in Organic Coatings*, vol. 71, pp. 362-368, 2011
- [5] G. Tyer, J. G. Helm, *U.S. Pat.* 6,066 (1849).
- [6] S.W.K. Morgan, “Zinc and its alloy and compounds”, *Ellis Horwood Ltd.*, England, 1985.
- [7] R.N. Shreve, “Chemical Process Industries”, McGraw-Hill, *Chem. Eng., Chem. Eng. Series*, pp. 434-436, 1967.
- [8] H. Wang, R.I.Wick, and B. Xing, “Toxicity of nanoparticulate and bulk ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub>, to the nematode *Caenorhabditis elegans*,” *Environmental Pollution*, vol. 157, pp. 1171-1177, 2009.
- [9] G. Heideman, “Reduced Zinc Oxide Levels in Sulphur Vulcanization of Rubber Compounds,” Ph.D. thesis, University of Twente, Enschede, the Netherlands, 2004.
- [10] N. Vatansever and S. Polat, “Effect of Zinc oxide type on ageing properties of SBR compounds,” *Materials and Design*, vol. 31, pp. 1533-1539, 2010.
- [11] P. Sapradit, P. Buapet, S. Kongseng, S. Peerakietkhajorn, “Temperature and concentration of ZnO particles affect life history traits and oxidative stress in *daphnia magna*,” *Aquatic Toxicology*, vol. 224, 2020.
- [12] G. Altundal, H. Gerengi, E. Çetin, U. Kapcak, K. Kaymaz “Performans Bisiklet Lastığı Sırt Karışımının Geliştirilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, ss. 1661-1675, 2020.
- [13] P. A. Ciullo, N. Hewitt, “The Rubber Formulary,” *Plastics Design Library*, William Andrew, pp. 56-57, 1999.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Alkali ile Aktive Edilmiş Cüruf ve Uçucu Kül Harçlarına Yüksek Sıcaklık Sonrası Hava Kürünün Etkisi

 Rabia Gizem SERTBAKAN<sup>a</sup>,  İsmail İsa ATABEY<sup>b,\*</sup>,  Uğur DURAK<sup>c</sup>,  Serhan İLKENTAPAR<sup>c</sup>,  Okan KARAHAN<sup>c</sup>,  Cengiz Duran ATIŞ<sup>c</sup>

<sup>a</sup> İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, TÜRKİYE

<sup>b</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, TÜRKİYE

<sup>c</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ismailatabey@nevsehir.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1091163

### Öz

Bu çalışmada alkali ile aktive edilmiş yüksek fırın cürufu ve uçucu kül içeren harçların dayanım özelliklerine yüksek sıcaklık sonrası hava kürü koşullarının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla uçucu kül %0, %25, %50, %75, %100 oranlarında yüksek fırın cürufu ile ikame edilerek alkali ile aktive edilmiş harçlar üretilmiştir. Harçlarda aktivatör olarak %10 oranında Sodyum (Na) içeren sodyum metasilikat kullanılmıştır. Üretilen harçlar 24 saat 90°C ısı küre tabi tutulmuştur. Isıl kür sonrası numuneler 400, 600 ve 800°C'de yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Referans grubu numuneleri etüv kürü uygulandıktan sonra, birinci grup numuneler yüksek sıcaklık uygulandıktan 1 gün sonra, ikinci grup numuneler ise yüksek sıcaklık uygulandıktan 28 gün sonra ağırlık kaybı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Yüksek sıcaklık öncesi en yüksek basınç dayanım 75,5 MPa ile %100 cürufu numunelerde elde edilirken en düşük basınç dayanımı 44,6 MPa ile %100 uçucu kül içeren numunelerde elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıktan sonra 28 gün havada kür uygulanan numunelerin basınç dayanım değerleri yüksek sıcaklığa maruz kalmayan numunelerin basınç dayanım değerleri ile karşılaştırıldığında, 400°C, 600°C ve 800°C'de sırasıyla en fazla %32, %64 ve %93 basınç dayanımı kaybı meydana gelmiştir. Numunelerin yüksek sıcaklık sonrası 1 ve 28 gün süreyle havada kür edilmesi, basınç dayanımlarında önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Yüksek sıcaklık sonrası eğilme ve basınç dayanımı kaybı hemen oluşmuş, 28 gün hava kürü ile numuneler genel olarak basınç dayanımlarını korumuşlardır.

**Anahtar Kelimeler:** Alkali aktivasyon, cüruf, uçucu kül, dayanım, yüksek sıcaklık, hava kürü.

## The Effect of Post-Fire Air Curing on Alkali-Activated Slag and Fly Ash Mortars

### ABSTRACT

In this study, the effect of high temperature post-air curing conditions on the strength of mortars containing alkali-activated blast furnace slag and fly ash was investigated. For this purpose, alkali-activated mortar samples were produced by replacing 0%, 25%, 50%, 75%, 100% fly ash with blast furnace slag. In the study, sodium metasilicate containing 10% sodium (Na) was used as activator. Samples produced were heat cured at 90°C for 24 hours. After heat curing, the samples were exposed to elevated temperatures at 400, 600 and 800°C. Weight loss, flexural, and compressive strength tests were applied to the first group samples one day after the heat curing, the second group samples one day after the elevated temperature, and the third group samples 28 days

after the elevated temperature. While the highest compressive strength before high temperature was obtained at 75.5 MPa in 100% slag samples, the lowest compressive strength was obtained at 44.6 MPa in samples containing 100% fly ash. When the compressive strength values of the samples, which were cured in air for 28 days after high temperature, were compared with the compressive strength values of the samples that were not exposed to high temperature, a maximum of 32%, 64% and 93% loss of compressive strength occurred at 400°C, 600°C and 800°C, respectively. Air curing of the samples for 1 and 28 days after high temperature did not cause a significant change in their compressive strength. The flexural and compressive strength loss occurred immediately after high temperature, and the samples generally preserved their strengths after 28 days of air curing.

*Keywords: Alkaline activation, slag, fly ash, strength, high temperature, air curing.*

## **I. GİRİŞ**

Nüfus artışı ve toprakların kullanımının kısıtlı olması bakımından yüksek binalara veya yeraltı yapılarına duyulan ihtiyaç artmaktadır. Bu tür inşaatlar yapımı ve servis ömrü boyunca yangın hasarları ile karşı karşıya kalmaktadır. Son yıllarda dünya üzerinde çok sayıda yangın insan yaşamını ve yapıları tehdit edecek şekilde artmaktadır [1]. Ülkemizde değişen iklim koşulları ve vatandaşların bilinçsiz davranışları yüzünden son zamanlarda birçok yangın yaşanmıştır. İnşaat endüstrisinde geleneksel beton, yaygın olarak yangına dayanıklı bir malzeme olarak tanınmasına rağmen, servis ömrü boyunca yüksek sıcaklıklara maruz kalan betonların kimyasal bileşimlerinde ve fiziksel özelliklerinde ciddi değişiklikler meydana gelmektedir [2],[3]. Genellikle beton 300 °C'nin altındaki sıcaklığa maruz kaldığında dayanımda bir azalma olmaz ya da bünyedeki suyun buharlaşmasından dolayı çok az dayanım artışı olabileceği görülmektedir [3]. Ancak 300°C'den sonra betonun yapısı hızla bozulmaktadır [4]. Beton bünyesine etki eden sıcaklık 400°C'nin üzerine çıktığında dayanım önemli ölçüde azalmaya başlar [5]. Bu azalma kalsiyum-silikat-hidrat jelinin 900°C'de tamamen yok olmasına kadar devam eder [6]. Ancak çimentosuz üretilen alkali ile aktive edilmiş harçlar çimentolu harçlara göre farklı yangın davranışı gösterebilmektedir.

Günümüzde, atmosfere salınan karbondioksit miktarını da azaltan, yüksek sıcaklıklarda mekanik performansını koruyabilen daha çevreci yapı malzemesi geliştirilmektedir. Bağlayıcı bileşen olarak Portland çimentosu kullanmak yerine, uçucu kül, cüruf gibi atık veya yan ürünler kullanılarak alkali aktivasyon yöntemi ile kompozit malzemeler oluşturulabilmektedir. Alkali aktivasyon teknolojisi, Portland çimentosuna benzer mühendislik özellikleri ve bazı durumlarda daha iyi termal özellikler nedeniyle inşaat endüstrisinde yaygın kullanımı için uygundur [7]. Cüruf, uçucu kül gibi atık malzemelerin yüksek sıcaklık koşullarındaki performansları hakkında yapılan çalışmalarda açık gözenek yapısı sebebi ile Portland çimentosundan daha iyi performans gösterdiğine, 600-800°C ve daha yüksek sıcaklıklarda bile çoğu durumda soğumadan sonra basınç mukavemetlerini koruduğu sonucuna varılmıştır [7],[8]. Literatür incelendiğinde cüruf ve uçucu küllü harçların yüksek sıcaklık özellikleri ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Kaya ve ark. (2018) Uçucu küllü geopolimer harçların çimentolu kontrol harçlarına göre daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir [9]. Çelikten ve Canbaz (2020), cüruf içeren lifli alkali ile aktive edilmiş harçların 200°C ve 400°C gibi düşük sıcaklıklarda dayanım artışı belirlemişlerdir [10]. Başka bir çalışmada Çelikten ve ark. (2019), yüksek fırın cürufu ve uçucu kül bazlı alkali ile aktive edilmiş harçların Portland çimento harçlarına göre 800 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı olduğunu vurgulamışlardır [11]. Yurt (2020) çalışmasında, yüksek fırın cürufunun yüksek dayanımlı çimentosuz beton üretiminde kullanılabilirliğini ortaya koymuştur [12]. Ancak yapılan bu çalışmalarda yüksek sıcaklık sonrası hemen dayanım testleri gerçekleştirilmiştir Yüksek sıcaklık sonrası dayanım gelişimini araştıran çalışmalar kısıtlıdır. Lee et al. [13], 800°C'ye kadar yüksek sıcaklıklara maruz kalan alkali ile aktifleştirilmiş cüruf/uçucu kül hamur performansını araştırmışlardır. Yüksek kalsiyum içerikli alkali ile aktifleştirilmiş bağlayıcıların ana reaksiyon ürünü olan C-A-S-H jelinin, düşük kalsiyum içeren alkali ile aktifleştirilmiş bağlayıcıların ana reaksiyon ürünü olan N-A-S-H jeline göre yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra dehidratasyon ve bozulmaya karşı daha savunmasız olduğunu belirtmektedirler.

Poon ve ark. [6] çimentolu harçların içerisine farklı oranlarda puzolan ilave ederek numuneler üretmişlerdir. Ürettikleri numuneleri 600°C ve 800°C yüksek sıcaklık sonrası havada ve suda kür ettikten sonra 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımlarını ölçmüşlerdir. Yaptıkları araştırmalar sonunda yüksek sıcaklık sonrası numunelerin basınç dayanımının büyük oranda düştüğünü ancak havada ve suda ikinci bir kür işleminden sonra numunelerin basınç dayanımında az da olsa bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Daha önceki çalışmalarda, alkali ile aktive edilen harçların cüruf [14] ve uçucu kül [15] ile normal kür özellikleri incelenmiştir. Ayrıca sodyum metasilikatin aktivatör olarak kullanılması ile ilgili çalışmalar olsa da [16] sodyum hidroksit ve sodyum silikatin kullanımı kadar yaygın değildir. Bu çalışmada ise alkali ile aktive edilmiş cüruf ve uçucu kül harçlarının yüksek sıcaklık sonrası hava kürü ile dayanımında oluşan değişim araştırılmıştır. Bu amaçla farklı oranlarda bir araya gelen cüruf ve uçucu kül bileşimi harçlar 400, 600 ve 800°C sıcaklığa maruz bırakılarak ortam sıcaklığında 1 ve 28 gün sonraki dayanım değişimleri belirlenmiştir. Böylece literatürde yapılan araştırmaların büyük bir bölümünü oluşturan yüksek sıcaklık sonrası hemen dayanım deneyleri yerine ortam sıcaklığında bekleyen harçların dayanım durumlarının tespit edilmesi amaçlanmıştır.

## **II. MATERYAL**

Laboratuvar çalışmasında alkali ile aktive edilmiş harç üretimi için; yüksek fırın cürufu, uçucu kül, sodyum metasilikat, dere kumu ve içilebilir şebeke suyu kullanılmıştır. Malzemelere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

### **A. CÜRUF**

DeneySEL çalışmalarda, Hatay ili İskenderun ilçesindeki İSDEMİR Demir Çelik Fabrikasının attığı olan yüksek fırın cürufu (C) kullanılmıştır. Yüksek fırın cürufu 45µm'dan daha ince olup, özgül ağırlığı 2,90 g/cm<sup>3</sup>'tür. Cürufa ait kimyasal özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

### **B. UÇUCU KÜL**

Çalışmada, Adana ili Yumurtalık ilçesi Sugözü köyünde bulunan Sugözü Termik Santrali'nden elde edilen, 45µm'dan büyük tane miktarı %18,5, özgül ağırlığı 2,29 g/cm<sup>3</sup> olan CaO yüzdesi % 10'un altında olduğu için düşük kireçli uçucu kül olarak da adlandırılan F sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu küle ait kimyasal özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

*Tablo 1. Cüruf ve uçucu kül kimyasal özellikleri.*

Oksit, %	Cüruf	Uçucu Kül
<b>SiO<sub>2</sub></b>	37,11	59,92
<b>CaO</b>	36,76	1,62
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	10,48	20,88
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,43	8,74
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,00	1,02
<b>MgO</b>	7,11	1,89
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,79	2,12
<b>SO<sub>3</sub></b>	1,05	0,17
<b>BaO</b>	0,22	0,13
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,63	0,91

<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,00	0,27
<b>Diğer</b>	4,42	2,33
<b>Kızdırma Kaybı</b>	2,35	2,10

### C. DERE KUMU

Harç üretiminde maksimum tane boyutu 4 mm'den küçük olan dere kumu kullanılmıştır. Kumun özgül ağırlığı 2,68, su emme oranı %1,97'dir. Dere kumunun tane dağılımı Tablo 2'de verilmiştir.

*Tablo2. Dere kumunun tane dağılımı.*

<b>Elek Çapı, mm</b>	<b>Geçen, %</b>
4,00	99,1
2,00	65,1
1,00	40,2
0,50	21,3
0,25	9,9
0,13	3,7
0,06	0,9

### D. AKTİVATÖR VE SU

DeneySEL çalışmalarda aktivatör olarak kullanılmak üzere Tekkim Kimya Sanayi firmasından granül şeklinde temin edilen ve kimyasal özellikleri Tablo 3'de verilen sodyum metasilikat temin edilmiştir. Ayrıca harç hazırlamada şehir şebekesinden içilebilir musluk suyu kullanılmıştır.

*Tablo3. Sodyum metasilikatın kimyasal analizi.*

<b>Spesifikasyon</b>	<b>Saflık</b>	<b>Sodyum Oksit (Na<sub>2</sub>O)</b>	<b>Silika (SiO<sub>2</sub>)</b>	<b>Demir (Fe)</b>	<b>Suda Çözünmeyen</b>	<b>pH</b>
Değerler (%)	≥95	48,0-51,0	44,4-47,4	≤0,1	≤0,5	>12

## III. METOT

Laboratuvar çalışmalarında üretilen harçların su/bağlayıcı oranı 0.40 ve kum/bağlayıcı oranı 3 olarak belirlenmiştir. Alkali aktivatör olarak %10 Na oranında metasilikat uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ile beraber karışıma ilave edilerek kullanılmıştır. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu yerine %0, %25, %50, %75, %100 oranlarında ikame edilerek harçlar üretilmiştir. Harç karışımları TS EN 196-1 [17] standardına göre hazırlanmıştır. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu yerine seçilen oranlarda değiştirilerek su ile birlikte karıştırma kabında 30 saniye karıştırılmıştır. Karıştırma sonrası ikinci 30 saniyelik süre içerisinde uçucu kül ve cürufu aktive etmek için granül olarak kumun içerisine sodyum metasilikat ilave edilmiştir. Ardından yüksek hızda karışımın tamamı 30 saniye daha mikserde karıştırılmaya devam edilmiştir. Karıştırıcı durdurulup ilk 30 saniyede kabın çeperlerindeki harç ortaya toplanarak toplam 90 saniye beklenmiştir. Ardından karıştırma işlemindeki son aşama olan yüksek hızda 60 saniye devam edilerek harç karışımı işlemi sonlandırılmıştır. Hazırlanan harçlar 40mm×40mm×160mm prizmatik kalıplara sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Numuneler 90°C etüvde 24 saat ısıtılarak kuru edilmiştir. Ardından numuneler kalıptan çıkarılmış ve oda sıcaklığına gelmesi beklenmiştir. Oda sıcaklığına gelen numunelerden bir takımı yüksek sıcaklık öncesi eğilme ve basınç

dayanım değerlerinin bulunması için deneye tabi tutulmuştur. Diğer iki grup numuneler 400°C, 600°C ve 800°C olmak üzere her sıcaklık grubu için dakikada 5°C artış gösterecek şekilde yüksek sıcaklık fırını ayarlanmış, hedeflenen sıcaklığa geldiğinde 60 dakika yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklık sonrası fırından çıkarılan numuneler bir gün oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numunelerden birinci gruba 1 günlük yangın sonrası eğilme ve basınç dayanım değerlerinin bulunması için hemen eğilme ve basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. İkinci gruba ait numuneler ise yüksek sıcaklık sonrası 28 gün oda sıcaklığında bekletildikten sonra eğilme ve basınç dayanımı deneyleri uygulanarak laboratuvar koşullarında beklemenin etkisi belirlenmiştir. Ayrıca numunelerin yüksek sıcaklık sonrası 28 günlük ağırlıkları kaydedilerek yüksek sıcaklık öncesi ağırlıklarına oranlanarak toplam yüzde ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Numuneler cüruf içeriğine göre kodlanmıştır. Örneğin C75 kodlu numuneler %75 Cüruf %25 uçucu kül içeren karışımları tanımlamaktadır. C100 grubu %100 cüruf, C0 ise %100 uçucu kül içeren harç grubuna aittir. Karışıma giren malzeme miktarları Tablo 4'te verilmiştir.

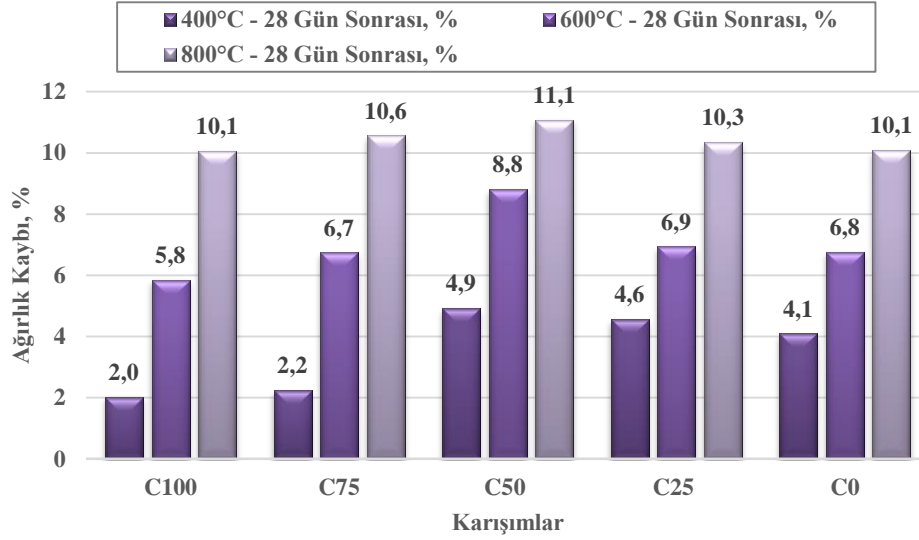
**Tablo 4.** Harç karışım miktarları (g).

Karışım Kodu	Cüruf	Uçucu Kül	Kum	Sodyum Metasilikat	Su
C100	450	0	1350	120	180
C75	337,5	112,5	1350	120	180
C50	225	225	1350	120	180
C25	112,5	337,5	1350	120	180
C0	0	450	1350	120	180

## **IV. BULGULAR VE TARTIŞMA**

### **A. AĞIRLIK KAYBI**

Laboratuvar çalışmalarında yüksek sıcaklık sonrası 28 günlük numunelerin ağırlık kayıpları belirlenerek Şekil 1'de verilmiştir. Tüm harç gruplarında sıcaklık artışı ile beraber ağırlık kayıpları oluşmuştur. Ancak C100 ve C75 grubu cüruf içeriği fazla olan harçlar 400°C'de C50, C25 ve C0 grubu harçlara göre daha düşük ağırlık kaybı yaşamıştır. Kür sonrası C100, C75, C50, C25 ve C0'ın ağırlık kaybı sırası ile %2,0, %2,2, %4,9, %4,6, %4,1 iken 800°C sonrası sırasıyla %10,1, %10,6, %11,1, %10,3, %10,1 olarak elde edilmiştir. Ancak kayıp oranları birbirine yakın olsa da C50 grubu harçlarda her sıcaklık için daha fazla ağırlık kaybı gözlemlenmiştir. C100 grubu harçlarda 400°C ve 600°C sıcaklık sonrası, C0 harcına göre daha düşük ağırlık kaybı görülmüş olsa da 800°C'de ağırlık kaybı değerleri birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Ağırlık kayıplarının sonuçları eğilme dayanım deneyleri ile birlikte değerlendirildiğinde en yüksek eğilme ve ağırlık kayıpları C50 grubu numunelerinde gözlemlenmiştir (Şekil 1,2,3 ve 4). Ağırlık kaybının 800°C'ye yükselen sıcaklıklarda artması, harcın mekanik bozulmasının yüksek sıcaklıkla önemli ölçüde şiddetlenmesi ile gözenekli mikro yapının oluşumuna bağlanmaktadır [18].



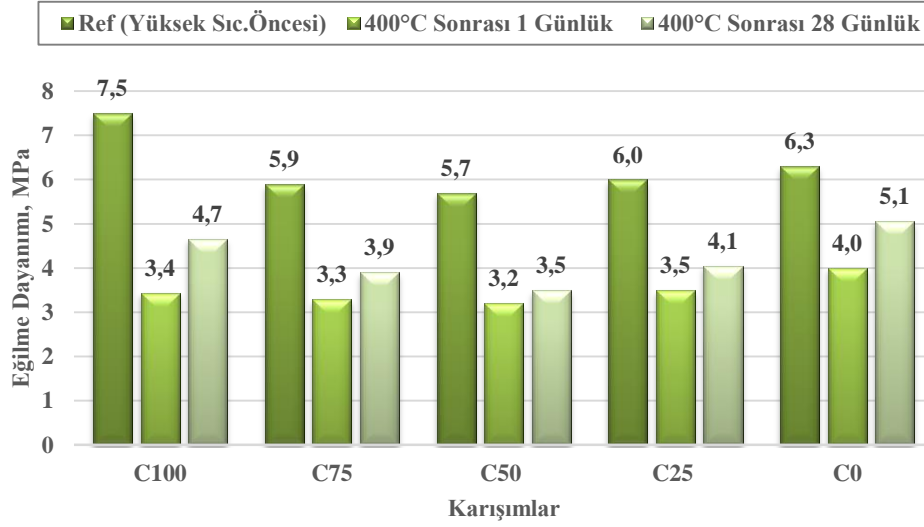
Şekil 1. 400, 600 ve 800°C sonrası 28 günlük ağırlık kaybı.

## B. EĞİLME DAYANIMI

Çalışmada üretilen alkali ile aktive edilmiş harçların yüksek sıcaklık öncesi eğilme dayanımı C100, C75, C50, C25 ve C0 için sırasıyla 7,5 MPa, 5,9 MPa, 5,7 MPa, 6,0 MPa ve 6,3 MPa'dır (Şekil 2,3,4). C100 ve C0 grubu harçlar cüruf ve uçucu külün birlikte kullanıldığı harç gruplarından daha yüksek eğilme dayanımı göstermiştir. C100 grubu ile C0 grubu arasında basınç dayanımında yaklaşık 30 MPa fark var iken eğilme dayanımında 1,2 MPa fark vardır. Yani basınç dayanımında azalma %41 iken eğilme dayanımında azalma %16'dır. Bu durumun sebebi artan uçucu kül oranı Eğilme Dayanımı/Basınç Dayanımı oranını arttırmaktadır. Özellikle C25 ve C0 grubu harçların Eğilme dayanımı/Basınç dayanımı oranı C100 grubundan daha yüksektir. Benzer bir çalışmada Marjanovic' ve ark. [19], alkali ile aktive edilen harçlarda ağırlıkça %0, %25, %50, %75 ve %100 seviyelerinde uçucu külü cüruf ile yer değiştirmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre, Uçucu kül/Cüruf oranının artması Eğilme Dayanımı/Basınç Dayanımı oranlarını arttırdığını belirlemişlerdir.

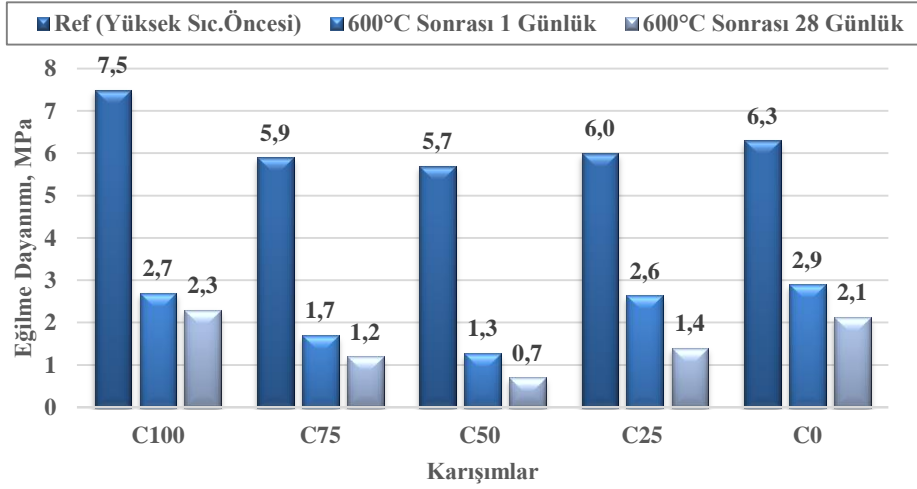
Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 400°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önce ve yüksek sıcaklık sonrası 1 ve 28 günlük eğilme dayanımı değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Yüksek sıcaklık öncesi eğilme dayanımı en yüksek C100 grubu numunelerde 7,5 MPa, en düşük ise C50 grubu numunelerde 5,7 MPa olarak ölçülmüştür. 400°C yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra numunelerin 1 günlük eğilme dayanım değerleri dikkate alındığında en düşük olduğu grup C50 grubudur. C50 grubu numunelerde 1 günlük kayıp %43,9 ve 28 günlük ise %38,6'dır. 400°C yüksek sıcaklık sonrası 28 günlük eğilme dayanım değerleri 1 günlük eğilme dayanım değerleri ile karşılaştırıldığında artış gözlenmektedir. Ancak bu artış sadece 400°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde gözlenmiştir. 600°C ve 800°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde böyle bir artış söz konusu değildir.





Şekil 2. 400°C öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimi.

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 600°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önce ve yüksek sıcaklık sonrası 1 ve 28 günlük eğilme dayanımı değerleri Şekil 3’de verilmiştir. 400°C’de olduğu gibi 600°C yüksek sıcaklıkta da en düşük eğilme dayanımı değeri C50 grubuna aittir. Sıcaklık artışı ile birlikte dayanım kaybı tüm harç gruplarında artmıştır.

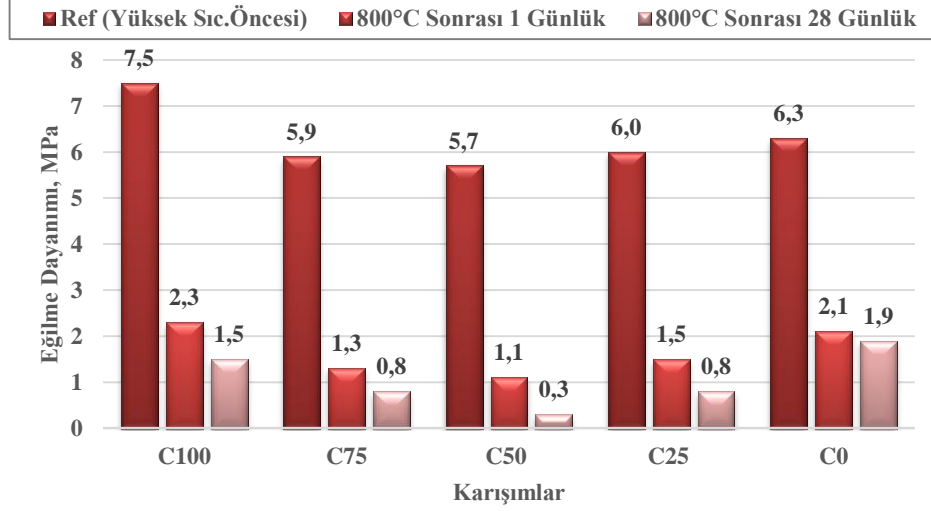


Şekil 3. 600°C öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimi.

Numunelerin 800°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önce ve yüksek sıcaklık sonrası 1 ve 28 günlük eğilme dayanımı değerleri Şekil 4’de verilmiştir. Tüm harç grupları için dayanım kaybının en yüksek olduğu sıcaklık 800°C’dir. 800°C’de 400°C ve 600°C’de olduğu gibi en düşük eğilme dayanımı ise yine C50 grubu numunelere aittir. Dayanım kaybının en çok gözlemlendiği bu numune grubunda benzer şekilde ağırlık kaybı da yüksektir (Şekil 1). C50 grubu numunelerde 800°C yüksek sıcaklık sonrası 1 günlük dayanım kaybı %80,7 olarak ölçülürken, bu değer 28 günlük sonuçlar dikkate alındığında %94,7 olarak ölçülmüştür. Ancak dayanım kaybı büyük oranda yüksek sıcaklık sonrası oluşmuş, 28 günlük bekleme dayanım değerlerinin düşmesinde kayda değer bir etki oluşturmamıştır.

Genel olarak hem yüksek sıcaklık öncesi hem de 400°C, 600°C ve 800°C’de C100 ve C0 grubu harçların eğilme dayanımları C50 grubundan yüksektir. %50 cüruf ve % 50 uçucu kül içeren harçlarda

eğilme dayanımının düşük olması, cürufllu sistemlere uçucu kül ilave edilmesi reaksiyon kinetiğini değiştirmektedir. Bu durum Pan ve ark. (2018) ve Puertas ve ark. (2011) tarafından, düşük Ca içeriğinin dayanımı arttıran jel oluşumunu geciktirdiği böylece %100 uçucu kül veya %100 cüruf ile üretilen harçlara göre karışımın farklı davranış sergilediğini ifade etmektedirler [20,21].

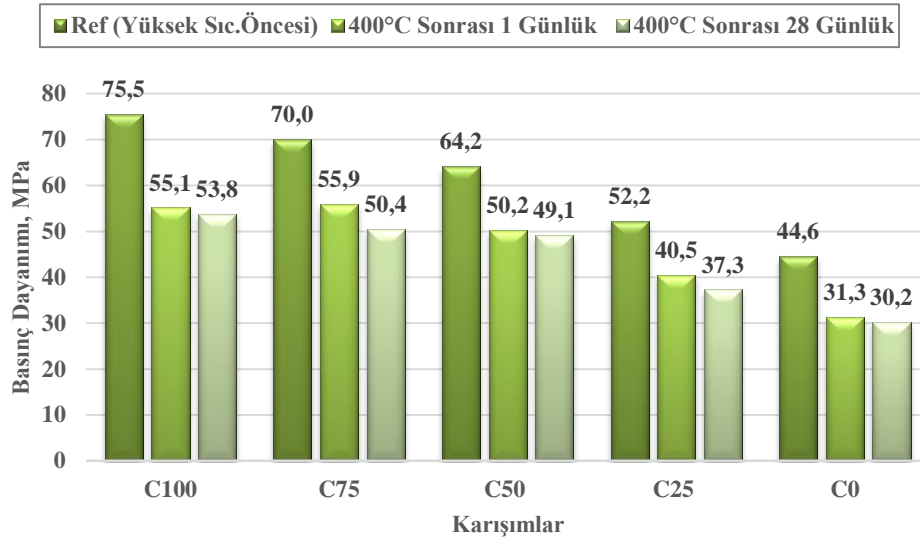


Şekil 4. 800°C öncesi ve sonrası eğilme dayanımı değişimi.

### C. BASINÇ DAYANIMI

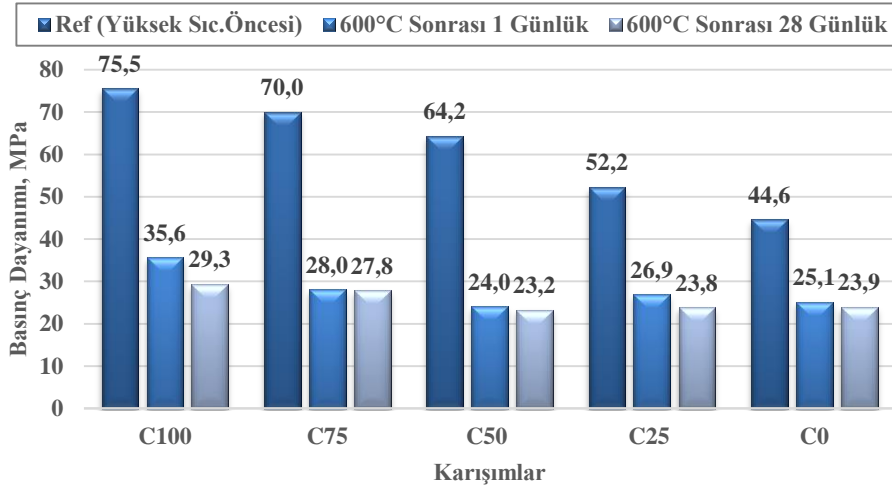
Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül içeren alkali ile aktifleştirilmiş harçların yüksek sıcaklık öncesi basınç dayanımları, yüksek sıcaklık sonrası 1 ve 28 günlük basınç dayanımları ile karşılaştırmak için kullanılmıştır. C100, C75, C50, C25 ve C0 grubu harçların basınç dayanımları sırası ile 75,5 MPa, 70,0 MPa, 64,2 MPa, 52,2 MPa ve 44,6 MPa'dır. Harç içeriğindeki uçucu kül oranı artışı ile dayanımda düşüş eğilimi oluşsa da %100 uçucu kül ile üretilen C0 numuneleri açısından bakıldığında cüruf ilavesinin sabit üretim parametrelerinde dayanım artışı sağladığı söylenebilir. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu hem kimyasal özellik hem de kullanılan aktivatörün atık tozlar üzerindeki etkisi sebebi ile farklı dayanım gelişimi göstermişlerdir. Bu sebeple sodyum metasilikat ile 0,4 su/bağlayıcı oranında C100 en yüksek C0 ise en düşük değerde çıkmıştır. Oysa Pan ve ark. [22] yaptıkları çalışmada, sodyum hidroksit, sodyum silikat ve sodyum metasilikat karışımı aktivatör kullanarak ürettikleri %100 cüruf ve %100 uçucu kül içeren harçların dayanımlarını birbirine yakın bulurken, %50 cüruf-%50 uçucu kül içeren harçların dayanımlarının en düşük dayanım olduğunu belirlemişlerdir. Bu durum yalnızca sodyum metasilikat kullanılarak sonuç elde edilen çalışmamızda Şekil 7'de görüldüğü gibi 800°C sonrasında oluşmuştur. Ayrıca Çelikten ve ark. [11] farklı MS ( $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ) oranlarında sodyum silikat ve sodyum hidroksit karışımı aktivatörler ile harç ürettikleri çalışmalarında %100 cüruf içeren karışımlarla %25 ve %50 oranında uçucu kül ile ikame edildiğinde dayanımda düşüş gözlemlenmiştir.

Harç numunelerinin 400°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önce ve yüksek sıcaklık sonrası 1 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Harçlarda uçucu kül oranının artışı ile dayanım değerlerinde azalma oluşmuştur. 400°C yüksek sıcaklık sonrası 1 ve 28 günlük en yüksek basınç dayanım kaybı sırasıyla tamamen uçucu kül ile üretilen C0 grubunda oluşsa da dayanım kayıpları diğer gruplar ile birbirine yakındır. Bu nedenle 400°C'de en düşük C0'de dayanım değeri elde edilse de yüksek sıcaklık sonrası dayanım değişimi yüzde olarak incelendiğinde tüm harç gruplarında 28 gün sonunda %23-%32 arasında dayanım kaybı söz konusudur. Basınç dayanımı eğilme dayanımı ile kıyaslandığında 1 ve 28 gün sonunda farklı dayanım gelişimi oluşmuştur. Eğilme dayanımında yüksek sıcaklık sonrası hava kürü bir miktar dayanım artışına yol açmıştır. Ancak basınç dayanımında 1 günden 28 güne kadar 1-4 MPa arasında dayanım kaybı oluşmuştur.



Şekil 5. 400°C öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimi.

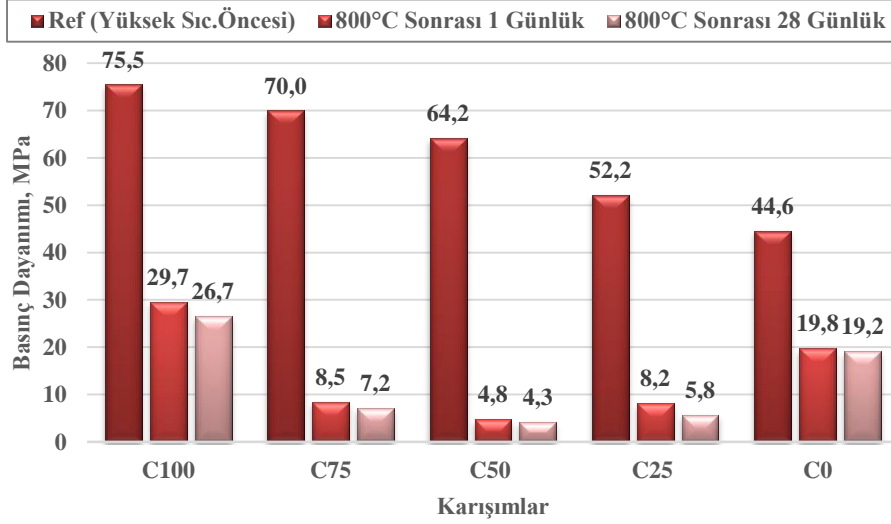
Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren numunelerin 600°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önce ve yüksek sıcaklık sonrası 1 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Yüksek sıcaklık sonrası kür uygulaması sonucu C100 grubunda 1 günden 28 güne dayanım 35,6 MPa'dan 29,3 MPa'ya düşmüştür. 600°C yüksek sıcaklık sonrası 1 ve 28 günlük en çok basınç dayanım kaybı sırasıyla %62,6 ve %63,9 ile C50 grubu numunelere aittir. Ancak 28 gün bekleme süresi uçucu kül içeren harçlarda yüksek oranda bir dayanım değişimi oluşturmamıştır. Yüksek sıcaklık sonrası 28 gün bekleyen numunelerin dayanım değerleri 1 günlük bekleme sonrası elde edilen değerlere yakın ya da bir miktar düşüş göstermiştir.



Şekil 6. 600°C öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimi.

Alkali ile aktifleştirilmiş harçların 800°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önce ve yüksek sıcaklık sonrası 1 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Yüksek sıcaklık sonrası 1 ve 28 günlük dayanımları dikkate alındığında en düşük kayıp C0 grubu numunelerde %55,6 ve %57,0 oranında görülmüştür. Ardından C100 ikinci en düşük oransal dayanım kaybı gösteren harç grubudur. 800°C sıcaklık cüruf ve uçucu kül birlikte içeren harç gruplarının dayanımını daha fazla olumsuz etkilemiştir. Yüksek sıcaklık öncesi ile kıyaslandığında 800°C yüksek sıcaklık sonrası 1 ve

28 günlük en çok basınç dayanım kaybı sırasıyla %92,5 ve %93,3 ile C50 grubu numunelere aittir. Ancak C25 ve C75 harçları da C100 ve C0'e göre aşırı dayanım kaybına uğramıştır. Ayrıca 1 günden 28 güne havada bekleme süresi dayanımda önemli ölçüde kayıp oluşturmamıştır. Örneğin; C50 grubu numuneleri, dayanımlarını büyük oranda yüksek sıcaklık etkisi ile kaybetmiş (64,2 MPa'dan 4,8 MPa'a düşmüş), numunelerin yüksek sıcaklık sonrası 1 günden 28 güne kadar havada beklemesi 4,8 MPa'dan 4,3 MPa'a düşük değerde (0,5 MPa) bir dayanım kaybı oluşmasına neden olmuştur.



Şekil 7. 800°C öncesi ve sonrası basınç dayanımı değişimi.

Genel olarak yüksek sıcaklık sonrası hava kürü uygulaması 28 gün sonunda basınç dayanımda küçük oranda kayıplara sebep olmuştur. El-Hassan ve ark (2021) [23] çalışmalarında cüruf ve uçucu kül içeren alkali ile aktifleştirilmiş harçların normal koşullarda havada ve suda ilave kür uygulamasının sonuçlarını araştırmışlardır. Tamamen cüruf ile üretilen harçlara %25 ve %50 oranında uçucu kül ikame etmişlerdir. Tüm harç gruplarında hava kürü ile dayanımda düşüşler gözlemlenmişler ancak su küründe dayanım artışı olmuştur.

Alkali ile aktive edilen cüruf ve uçucu kül içeren harçların yüksek sıcaklık sonrası 1. Gün ve 28. Gün arasında önemli dayanım kaybı oluşmamaktadır. Ancak alkali ile aktive edilen harçlar çimentolu harçlarla kıyaslandığında çimentolu harçlarda ilave hava kürü dayanımda düşüşe yol açmaktadır. Bu durumu açıklayan bir çalışmada Karahan (2011) [24], 400°C yüksek sıcaklık sonrası hemen kırılan numunelerin basınç dayanımı yaklaşık 54 MPa iken 7 gün ilave hava kürü sonunda 43 MPa'a düştüğünü belirlemiştir. Bu durum 600°C ve 800°C için de geçerlidir. 600°C de 32 MPa'dan 14 MPa'a, 800°C'de 17 MPa'dan 5 MPa basınç dayanımına düşmüştür. Fakat çalışmamızda alkali ile aktive edilen C100 harcı 400°C'de 55,1'den 53,8 MPa'a 600°C'de 35,6 MPa'dan 29,3 MPa'a, 800°C'de ise 29,7 MPa'dan 26,7 MPa'a düşmüştür. Bu durum C75, C50, C25 ve C0 grubu harçlar için de benzer şekildedir. Bu yönü ile ilave hava kürü dayanım değişimi açısından alkali ile aktive edilen harçların çimentolu harçlardan farklı olarak daha olumlu davranış gösterdiğini ortaya koymuştur [25]. Ayrıca C100 grubu harçlardan C0 a doğru basınç dayanımında azalma eğilimi görülürken bu durum eğilme dayanımında aynı azalış eğilimi göstermemektedir. Luga ve Atiş (2016) çalışmasında da benzer durum söz konusudur. Sodyum metasilikat kullanılarak üretilen cüruf/uçucu kül içeren alkali ile aktive edilmiş harçlarda basınç dayanımı cürufa kül ikame oranının artması ile azalmaktadır. Ancak eğilme dayanımında artış görülmektedir [26].

## V. SONUÇ

Deneysel çalışmadan aşağıdaki ana sonuçlar çıkarılabilir:

- Alkali ile aktive edilen harçlarda yüksek sıcaklık sonrası ağırlık kaybı eşit oranda cüruf ve uçucu kül kullanılan C50 harçlarında en fazla oluşmuştur. Ancak uçucu külün cüruf ile ikame oranı arttıkça genel olarak ağırlık kaybının arttığı görülmüştür.
- 400°C yüksek sıcaklık sonrası 1. günden 28. güne kadar eğilme dayanımında bir miktar artış olmuştur. Bu artış küçük olsa da 600°C ve 800°C sıcaklıkta bu eğilim ters yönde oluşarak eğilme dayanımında düşüş gözlenmiştir.
- Yüksek sıcaklık sonrası oransal olarak en fazla eğilme dayanımı kaybı C50 grubu harçlarda oluşmuştur. Ancak 1 ile 28 gün hava kürü arasında eğilme dayanımı kaybı düşük orandadır.
- Uçucu kül oranı artışı ile C25 ve C0 grubu harçlarda Eğilme dayanımı/Basınç dayanımı oranının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Basınç dayanım değerlerinde sıcaklık artışı ile dayanım kaybı artmıştır. Ancak 400°C ve 600°C yüksek sıcaklık sonrası dayanım kaybı tüm harç gruplarında benzer eğilim gösterirken, 800°C sonrası C100 ve C0 grubu harçların yüksek sıcaklık direncinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Yüksek sıcaklık sonrası numunelerde meydana gelen eğilme ve basınç dayanım kayıpları hemen oluşmuştur. Yüksek sıcaklık sonrası 28 gün hava kürü, numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarında kayda değer bir değişim oluşmasına neden olmamıştır.

## VI. KAYNAKLAR

- [1] Q. Ma, R. Guo, Z. Zhao, Z. Lin, and K. He, “Mechanical properties of concrete at high temperature-A review,” *Construction and Building Materials*, vol. 93, pp. 371–383, 2015.
- [2] H. Yang, Y. Lin, C. Hsiao, and J. Y. Liu, “Evaluating residual compressive strength of concrete at elevated temperatures using ultrasonic pulse velocity,” *Fire Safety Journal*, vol. 44, no. 1, pp. 121–130, 2009.
- [3] L. Li, L. Shi, Q. Wang, Y. Liu, J. Dong, H. Zhang, and G. Zhang, “A review on the recovery of fire-damaged concrete with post-fire-curing,” *Construction and Building Materials*, vol. 237, p. 117564, 2020.
- [4] S. K. Handoo, S. Agarwal, and S. K. Agarwal, “Physicochemical, mineralogical, and morphological characteristics of concrete exposed to elevated temperatures,” *Cement and Concrete Research*, vol. 32, no. 7, pp. 1009–1018, 2002.
- [5] J. Xiao and G. König, “Study on concrete at high temperature in China - An overview,” *Fire Safety Journal*, vol. 39, no. 1, pp. 89–103, 2004.
- [6] C. S. Poon, S. Azhar, M. Anson, and Y. L. Wong, “Strength and durability recovery of fire-damaged concrete after post-fire-curing,” *Cement and Concrete Research*, vol. 31, no. 9, pp. 1307–1318, 2001.
- [7] O. G. Rivera *et al.*, “Effect of elevated temperature on alkali-activated geopolymeric binders compared to portland cement-based binders,” *Cement and Concrete Research*, vol. 90, pp. 43–51, 2016.
- [8] A. Martin, J. Y. Pastor, A. Palomo, and A. Fernández Jiménez, “Mechanical behaviour at high temperature of alkali-activated aluminosilicates (geopolymers),” *Construction and Building Materials*, vol. 93, pp. 1188–1196, 2015.

- [9] M. Kaya, M. Uysal, K. Yilmaz, and C. D. Atiş, “Behaviour of geopolymers mortars after exposure to elevated temperatures,” *Materials Science-Medziagotyra*, 24(4), 2018.
- [10] S. Çelikten ve M. Canbaz, “Yüksek sıcaklığa maruz atık çelik lif takviyeli alkali ile aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü harçların davranışı,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(6), 1110-1116, 2020.
- [11] S. Çelikten, M. Sarıdemir, ve İ. Ö. Deneme, “Mechanical and microstructural properties of alkali-activated slag and slag+ fly ash mortars exposed to high temperature,” *Construction and Building Materials*, vol. 217, pp. 50-61, 2019.
- [12] Ü. Yurt, “High performance cementless composites from alkali activated GGBFS,” *Construction and Building Materials*, 264, 120222, 2020.
- [13] N. K. Lee, K. T. Koh, G. H. An, and G. S. Ryu, “Influence of binder composition on the gel structure in alkali activated fly ash/slag pastes exposed to elevated temperatures,” *Ceramics International*, vol 43, no.2, pp. 2471–2480, 2017.
- [14] Z. Almaz Özcan, “Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufu ve uçucu kül tabanlı harçların özellikleri,” Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2020.
- [15] İ. İ. Atabey, “F sınıfı uçucu küllü geopolimer harcının durabilite özelliklerinin araştırılması,” Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2017.
- [16] İ. İ. Atabey, “Farklı aktivatör tipinin atık cam tozu esaslı geopolimer harçların üretim özelliklerine etkisi,” The 3rd International Symposium of Engineering Applications on Civil Engineering and Earth Sciences (IEACES2021), Karabük, 2021.
- [17] *Çimento Deney Metodları-Bölüm 1: Dayanım Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 196-1, 2016.
- [18] R. Cai, and H. Ye, “Clinkerless ultra-high strength concrete based on alkali-activated slag at high temperatures,” *Cement and Concrete Research*, 145, 106465, 2021.
- [19] N. Marjanović, M. Komljenović, Z. Bašćarević, V. Nikolić, and R. Petrović, “Physical–mechanical and microstructural properties of alkali-activated fly ash–blast furnace slag blends,” *Ceramics International*, vol. 41, no. 1 pp. 1421-1435, 2015.
- [20] Z. Pan, Z. Tao, Y. F. Cao, R. Wuhner, and T. Murphy, “Compressive strength and microstructure of alkali-activated fly ash/slag binders at high temperature,” *Cement and Concrete Composites*, 86, 9-18, 2018.
- [21] F. Puertas, M. Palacios, H. Manzano, J. S. Dolado, A. Rico, and J. Rodríguez, “A model for the CASH gel formed in alkali-activated slag cements,” *Journal of the European Ceramic Society*, 31(12), 2043-2056, 2011.
- [22] Z. Pan, Z. Tao, Y. F. Cao, R. Wuhner, & T. Murphy, “Compressive strength and microstructure of alkali-activated fly ash/slag binders at high temperature,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 86, pp. 9-18, 2018.
- [23] H. El-Hassan, E. Shehab, and A. Al-Sallamin, “Effect of curing regime on the performance and microstructure characteristics of alkali-activated slag-fly ash blended concrete,” *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, vol. 10, no.5, pp. 289-317, 2021.

[24] O. Karahan, “Residual compressive strength of fire-damaged mortar after post-fire-air-curing,” *Fire and Materials*, vol. 35, no.8, pp. 561-567, 2011.

[25] R. G. Sertbakan, İ. İ. Atabey, U. Durak, S. İlkentapar, O. Karahan ve C. D. Atiş, “Alkali ile aktive edilmiş cüruf+uçucu kül harçlarına yüksek sıcaklık sonrası hava kürünün etkisi,” 4. Uluslararası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu (UMAS 22), Düzce, 2022.

[26] E. Luga and C. D. Atiş, “Strength properties of slag/fly ash blends activated with sodium metasilicate and sodium hydroxide plus silica fume,” *Periodica Polytechnica-Civil Engineering*, 60(2), 2016.



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Debriyaj Diski Dış Ana Sac Batma Prosesinin Etkilerinin İncelenmesi

 Ömer YILDIZ <sup>a</sup>,  Caner EŞ <sup>b</sup>,  Serdar AKBULUT <sup>b</sup>,  Ulaşcan KURT <sup>b</sup>,  İbrahim Can KAYMAZ <sup>b</sup>,  Hüseyin ÇAKILI <sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Gümüşhane Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gümüşhane / Türkiye*

<sup>b</sup> *Dönmez Debriyaj San. Ve Tic. A.Ş., Ar-Ge Merkezi, İzmir / Türkiye*

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: [omeryildz0@gmail.com](mailto:omeryildz0@gmail.com)

DOI: 10.29130/dubited.1114223

### ÖZ

Araçlarda ve bazı makinelerde motor ve şanzıman arasında tork ve hareketi aktarma organı olarak debriyaj sistemleri kullanılır. Debriyaj sistemleri debriyaj diski, debriyaj baskısı ve debriyaj rulmanı olarak 3 ana bileşen ve 2 yardımcı bileşenden oluşmaktadır. Çalışmamızda debriyaj ana bileşenlerinden olan debriyaj diskinin alt parçalarından “dış ana sac” parçası konu alınmıştır. Debriyaj diski hareket aktarımı sırasında dönme momenti ve baskı kuvvetine maruz kalır. Dönmez Debriyaj A.Ş bünyesinde, üretilen dış ana sac üretiminde delme-kesme, doğrultma, tormalama operasyonları uygulanmaktadır. Bu çalışmada dış ana sac tasarımında yüzeye 0,05-0,04 derinlikte batma uygulanmıştır. Çalışmamızda dış ana sac yüzeyindeki batmaların, perçin delikleri çevresinde ve ana sac yüzeyindeki gerilmelere etkisi incelenmiştir. Batmalı ve Batmasız olarak iki farklı ana sac tasarımı ANSYS ticari yazılımı static structural modulünde gerçek çalışma şartları tanımlanıp simule edilmiştir. Her iki tasarım üzerinden eşdeğer gerilmeler, asal gerilmeler, toplam deformasyon ve gerilme vektörleri sonuçları elde edilmiştir. Sonuçlara göre batma operasyonu, dış ana sac yüzeyi ve perçin çevresindeki gerilmeleri parça yüzeyine dağıtıp sönmülediği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** *Debriyaj Diski, Gerilme, Perçin, Sonlu Elemanlar Analizi*

## Investigation of The Effects of Sinking Process on The Clutch Outer Main Plate

### ABSTRACT

In vehicles and some machines, clutch systems are used between motor and transmission as torque and motion drivetrain. Clutch systems consist of 3 main components and 2 auxiliary components as clutch disc, clutch cover assembly, and clutch bearing. In our study, the “outer main plate” part of the sub-parts of the clutch disc, which is one of the main components of the clutch, is discussed. The clutch disc is exposed to rotation momentum and pressure force during the transmission of motion. In the production of the outer main plate within the Dönmez Clutch Inc. drilling-cutting, straightening, and turning operations are applied. In this study, in the design of the outer main plate, the indentations with the depth of 0,05-0,04 has been applied on the surface. In our study, the effect of the indentation on the surface of the outer main plate to the stress around the rivet holes and on the main plate surface has been examined. Two different main plate designs with and without the indentations have been simulated by defining the real working conditions on the static structural module of the ANSYS commercial software. Through the two designs, equivalent stress, principal stress, total deformation, and stress vectors have been obtained. As a result, the indentation operation has been observed to absorb the stress on the outer main plate and around the rivets by distributing the stress on the surface of the part.

**Keywords:** *Clutch Disk, Strain, Rivet, Finite Element Analysis.*

Geliş: 09/05/2022, Düzeltme: 10/07/2022, Kabul: 06/09/2022



# I. GİRİŞ

## **A. DEBRİYAJ SİSTEMİ**

Debriyaj, hareket ve tork aktarımı yapan 2 mil arasında istenildiği takdirde tahrik milini tahrik edilen milden ayırabilen bir bağlantı sağlar. Debriyaj sistemleri, küçük güçler ile yüksek atalet yükünün çalıştırılmasına izin verir, ayrıca her türden üretim makinelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. [5] Debriyaj sistemi motor ve şanzımana göre daha az kompleks yapıda olup, 3 ana bileşen ve 2 yardımcı bileşenden oluşmaktadır (Şekil 1). Bunlar;

- Debriyaj baskısı
- Debriyaj diski
- Debriyaj rulmanı
- Volan (Yardımcı)
- Çatal (Yardımcı)

### **A. 1. Debriyaj Baskısı**

Ayna, diyafram yay ve baskı kafesi gibi alt parçalardan oluşan, sürekli dönen bir parça olan volan yüzeyine disk parçasını sabitleyen ve gerektiği zaman aradaki bağlantıyı kesen bir mekanizmadır.

### **A. 2. Debriyaj Diski**

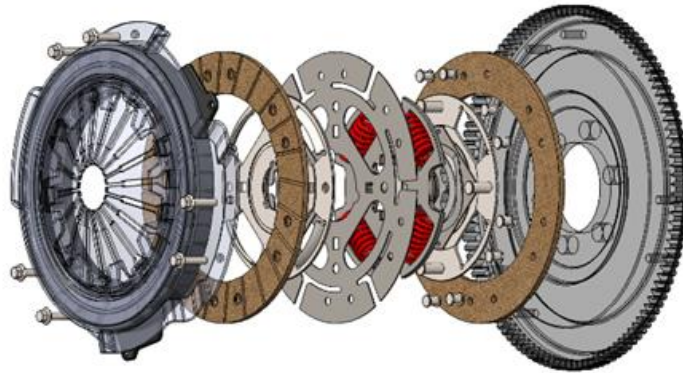
Balata, göbek, yaprak yay gibi alt parçalardan oluşan disk, volan ile ayna arasında sürtünme oluşturarak beraber dönmesini sağlar.

### **A. 3. Debriyaj Rulmanı**

Debriyaj rulmanı, debriyaj baskı kompleksinin itmeli ya da çekmeli ayırma tipli olmasına göre, diyafram yayı ileri ya da geri hareket ettirerek kavramanın çözülmesini sağlayan bir mekanizmadır.

### **A. 4. Yardımcı Elemanlar**

Volanın görevlerinden biri motorun hareketini ve torkunu debriyaj diskine sürtünme yoluyla iletmektir. Çatal debriyaj rulmanını iterek diyafram yaya ihtiyacı olan aksel hareketi verir.



*Şekil 1. Debriyaj sistemi elemanları.*

## B. DEBRİYAJ DİSKİ

Debriyaj disk, volan ve baskı plakası arasında bulunan, motor torkunu ve hareketini prizdirek miline sürtünme yardımıyla aktaran debriyaj sistemi elemanıdır. Debriyaj diskinde tork aktarımı sırasında gözlemlenen sürtünme ilk olarak balatalara uygulanır. Perçinler ile sisteme montajlanan balatalar ana sac yüzeyinde bir gerilme oluşturur.

Debriyaj disk temelde 8 elemandan oluşur;

- Balata bağlantı perçinleri
- Balata
- Pre-damper yayları (Rolanti ve düşük tork değerlerinde iletim ve sönümlenme özelliği sağlar.)
- Ana-damper yayları (Yüksek tork değerlerinde iletim ve sönümlenme özelliği sağlar.)
- Kapak
- Ana sac
- Yaprak yay
- Yaprak yay bağlantı perçinleri
- Göbek

Debriyaj disk, motor tarafından üretilen torkun şanzıman giriş miline aktarılmasında rol oynayan ana elemanlardan biridir. Disk torkun iletimi sırasında sürtünmeli olarak çalışır ve kullanıcıya maksimum konfor yaratma ilkesine dayanarak çalışmaktadır. Konforun artırılması adına torsiyonel titreşimlerin sönümlenmesinde pre-damper ve anadamper yapılarını, yumuşak kavrama yapılması için ise yaprak yayları içinde barındırmaktadır. Motor torkunun iletimi sırasında oluşan dönme momenti ilk olarak balatalara uygulanır. Balataların perçin kullanılarak bağlandığı ana sac ve yaprak yay elemanlarına iletilen dönme torku, buradan disk göbeğine ve şanzıman miline aktarılır.

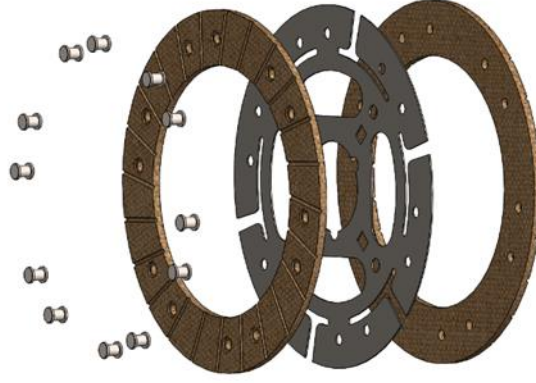
### B.1. Ana Sac

Debriyaj disk volan ve baskı plakası yüzeyi ile kuru sürtünmeli olarak çalışır. Diskin her iki tarafında sürtünme yüzeyi görevini balatalar görmektedir. Balataların birbirleri arasındaki ve göbek ile arasındaki bağlantıyı ana sac sağlar. Kavrama anında motordan gelen hareket disk ve baskı plakası aracılığıyla şanzımana aktarılır iken disk üzerine gelen momentin büyük bir bölümünü ana sac karşılamaktadır.

Ana sac iki bölümden oluşmaktadır;

- İç ana sac
- Dış ana sac

Dış ana sac yaprak yay ile balataların bağlantısını sağlarken, iç ana sac dış ana sac ile göbek arasında bağlantıyı sağlamaktadır.



*Şekil 2. Ana sac - balata perçin bağlantısı.*

## **II. AMAC**

Bu çalışmada sonlu elemanlar analizi metodu kullanılarak günümüzde aktif olarak kullanılan iki farklı ana sac tasarımı incelenmiş ve ana sac yüzeyinde gözlenen farklılıkların sunulması hedeflenmiştir. Ana sac üzerinde yapılan tasarım değişikliğinin ana sac perçin delikleri çevresinde oluşan gerilmeleri olumlu yönde etkilemesi beklenmektedir. Analiz sonuçlarını testlerle doğruladıktan sonra üretime geçilmesi amaçlanmaktadır.

## **III. KAPSAM**

Debriyaj sistemi yaygın olarak taşıtlarda motorların oluşturduğu gücün aktarma organlarına iletiminde kullanılan bir iletim organıdır. Debriyaj sistemlerine, otomotiv sektörü dışında her tür makine sektöründe de rastlamak mümkündür. Kuru Sürtünmeli debriyaj sistemlerinde kavrama esnasında temas yüzeyleri (baskı plakası, debriyaj diski ve volan) arasında kayma meydana gelir ve bu kayma nedeniyle ara yüzeylerin sürtünme yüzeylerinde ısı enerjisi üretilir [1]. Bu sebeple debriyaj sistemlerinde kullanılan malzemelerinin mekanik mukavemet özelliklerinin yanı sıra termal dayanım özelliklerine de dikkat edilmelidir.

Debriyajın alt bileşenlerinden biri olan ve bu çalışma kapsamında incelenen parça (Dış ana sac) ERD 6106 (SAE J403-2014) malzemesinden imal edilmiştir. Bu çelik, soğuk haddelenmiş karbon çeliği olarak bilinir.

Doğru bir perçinli bağlantı, aşağıdaki üç gereksinimi karşılamalıdır;

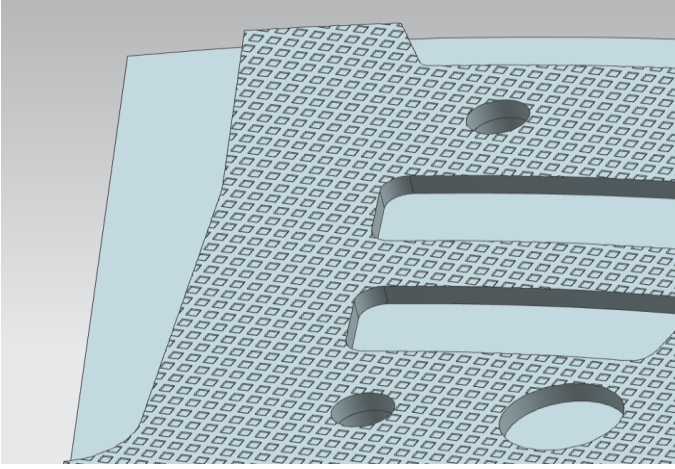
- Bağlantının kesilmeye karşı direnci. (perçin kesiti yoluyla)
- Birleştirilen komponentlerin perçin deliklerinden çökme yaşanmaması. ("d/e" oranı aracılığıyla)
- Birleştirilmiş komponentlerin yırtılmaması.

Perçinli bağlantılarda gözlemlenen tipik hasar mekanizmaları şunlardır: perçin kafasının yırtılması, perçinin kesme altında kırılması, perçin deliklerinin yakınında plakanın kırılması ve plakaların ani çökmesi. [2]

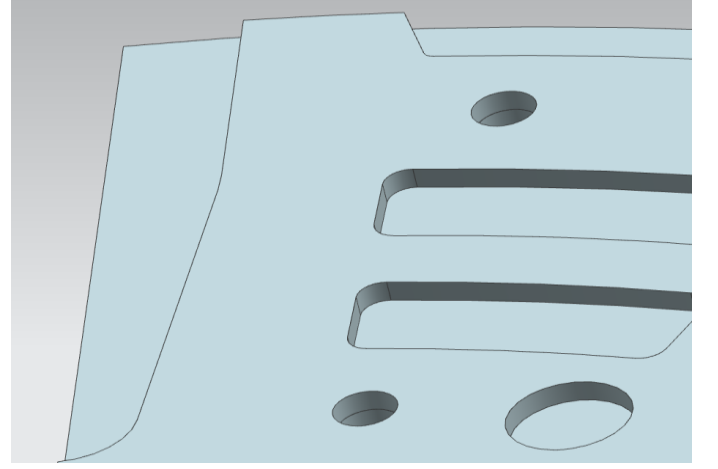
Perçinli bağlantılarda plakada kayma gerilmesinin yanı sıra perçin temas yüzeylerinde çapsal basınç oluşur, birleştirilmiş komponentlerde yükün (perçin deliğinin iç yüzeyi) perçin şaftına uyguladığı basınçtır. Çift kesme altındaki perçinler için, Belçika Standardizasyon derneği normlarına göre, dikkate alınması gereken izin verilen yük olarak, kesme hesabından elde edilen sonuçlar ile çapsal sıkıştırmanın sonuçları arasındaki minimum değeri tavsiye edilmektedir. Bu öneriler, kayma dayanımı

için 110 [MPa] ve çapsal basınç dayanımı için (yumuşak çelik) 320 [MPa] verilerine dayanmaktadır. [4]

Çalışmamızda konu aldığımız ana sac yüzeyindeki 0,04-0,05 mm derinliğindeki batmalar ile ilgili literatürde benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak VMK.Tipirineni ve PP.Rao yaptıkları çalışmada debriyaj diski kapağı üzerindeki gerilmelerin azaltılması ve safety factorun artırılması amacı ile ana sac kalınlığını arttırmış, yay yuvaları köşe radiuslarının yarı çaplarını artırarak safety factor değerini 1,23 seviyesinden 1,7 seviyesine çıkartmıştır. [7] Ana sac parçasının yüzeyinde batmaları oluşturmak için hali hazırda uygulanan doğrultma presi kalıbında bir değişikliğe gidilerek doğrultma ve batma operasyonu tek seferde gerçekleştirilecektir. Ana sac yüzeyine yapılan batma prosesi, parçanın gerilmelere karşı olan performansını direkt olarak etkilemesi beklenmektedir. Analizi yapılacak olan kesitlerin kompleks ve küçük olmaları sebebiyle değerlendirme yöntemi olarak sonlu elemanlar metodu (FEM) belirlenmiştir. Ana saca yüklenen kuvvetlerin etkisi ANSYS Workbench ticari yazılımı Statik yapısal modülü kullanılarak doğal çalışma ortamı simule edilip incelenmiştir.



Şekil 3. Batmalı Ana sac Görünümü.



Şekil 4. Batmasız Ana sac Görünümü.

## IV. YÖNTEM

Yapılan literatür araştırmalarında perçinli bağlantıların analizleri için aşağıda belirtilen sonuçların incelendiği gözlemlenmiştir.

- Yorulma ve sürtünme analizi
- Gerilme yoğunluğu faktörü ve yük transferi analizi
- Çatlak büyümesi ve çoklu site hasarı

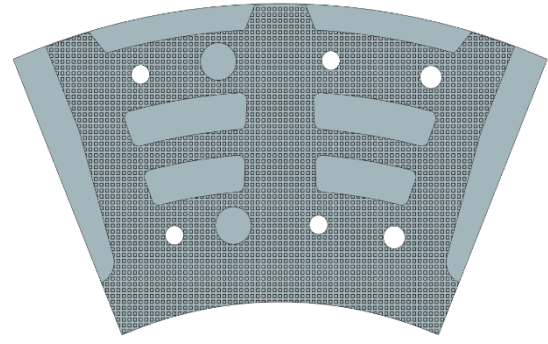
Bulunan literatür çalışmaları sonrasında yaptığımız çalışmada yüklere bağlı olarak perçin temas yüzeyi ve ana sac yüzeyindeki gerilme yoğunluklarının incelenmesine karar verilmiştir.

Gerilme yoğunluğu faktörü ve yük transferi analizi;

Perçinli bağlantıların gerilme durumu ve yorulma ömrü tahminini karakterize etmek için, gerilme yoğunluk faktörleri çözümleri yapılmalıdır. Perçinli bağlantılardaki çatlaklar üzerinde yapılan çalışmalarda genellikle perçin rijit pim olarak kabul edilmiştir. Perçin montajından ve plakaların eğilmesinden kaynaklanan artık gerilmeyi ve plakaların temas noktalarındaki karmaşık temas durumunu ortadan kaldırmak için balata elemanları analize dahil edilmemiştir.

Literatürde yapılan perçin analizlerinde bağlantı elemanı deliklerinden kaynaklanan çatlaklar için stres yoğunluğu faktörleri incelendiği görülmüştür. Bu çalışmalar, yapılacak a perçinli bağlantı analizi için bir başlangıç noktası niteliği taşımaktadır. Moreira, P. M. G. P. ve arkadaşları 2007 yılında yaptıkları çalışmada iki plakanın perçinler ile bağlantısının analizlerini gerçekleştirmiş ve yük transferinin önemli bir parametre olduğunu göstermiştir.[3]

Sonlu elemanlar analizi yapılacak batmalı/batmasız ana sac tasarımlarının 3 boyutlu modelleri ve perçinler ile montaj çalışmaları Siemens NX ticari yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 3). Hazırlanan geometri verisi ANSYS Workbench ortamına aktarılarak Statik yapısal modulünde sonlu elemanlarda analizleri gerçekleştirilmiştir. Dönmez debriyaj bünyesinde üretilen debriyaj diskleri boyut ve performans açısından ağır ticari araçların ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Bu sebeple analiz ortamında Hazırlanan modellere çalışma ortamında karşılaştıkları 2300Nm dönme momenti ve 37000N baskı kuvveti yükleri uygulanmıştır. Perçinler rijit elemanlar olarak kabul edilerek, çalışma koşullarında özellikle ana sac tasarımlarının perçin temas yüzeylerinde ve çevresinde oluşan gerilmeler incelenmiştir.



Şekil 3. CAD ve Gerçek Görünümde Batmalı Ana sac-Balata Montajı.

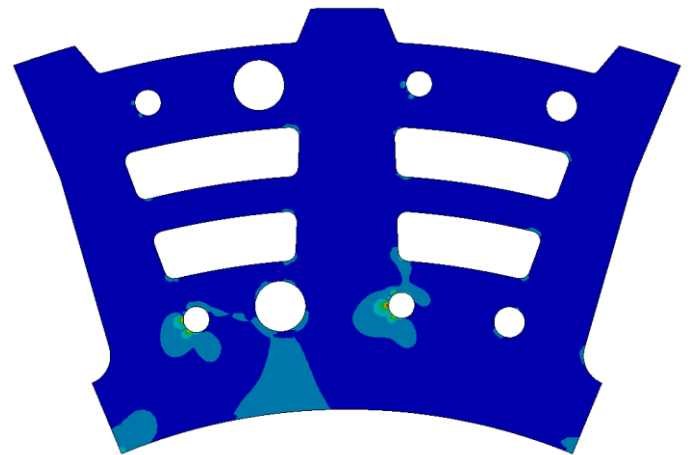
## V. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bir ağır ticari araçta takılı olan debriyaj diskinin görebileceği maksimum yüklemelere ve sınır şartlarına göre sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilen ana sac analizini batmalı ve batmasız modeller üzerinden incelersek, perçinlere gelen kuvvetin ana sac perçin delikleri ve çevresinde gerilme yarattığı görülüyor. Batma prosesinin bu gerilmeleri parça geneline dağıtarak sönmlediği görülmektedir.

### A. EŞDEĞER GERİLME



Şekil 6. Batmalı Ana sac Eşdeğer Gerilme.

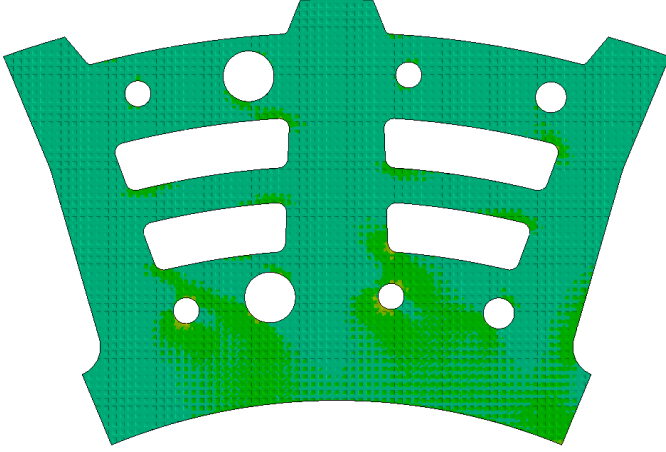


Şekil 7. Batmasız Ana Sac Eşdeğer Gerilme.

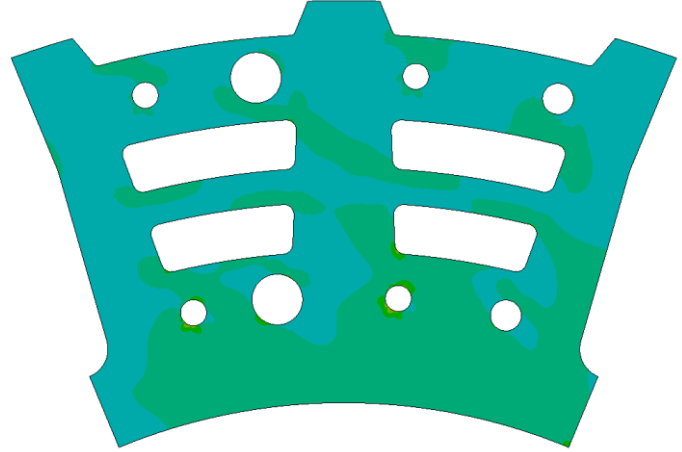


Resimlerde görüldüğü üzere batmalı ana sac parçası üzerinde oluşan gerilmelerin etki ettiği yüzey alanı genişlemiştir. Bu genişlemenin sebeplerinden birisi parça üzerinde form değişikliği yaparak dislokasyonların artırılmasıdır. Dislokasyonların parçaya etkisi ile akma dayanımının artmasına yol açmıştır. Analiz sonucunda görülmüştür ki batmasız ana sac tasarımında elde edilen eşdeğer gerilme 211,74 MPa görülür iken batmalı ana sac üzerinde bu sonuç 181,67 olarak görülmüştür.

## B. ASAL GERİLME



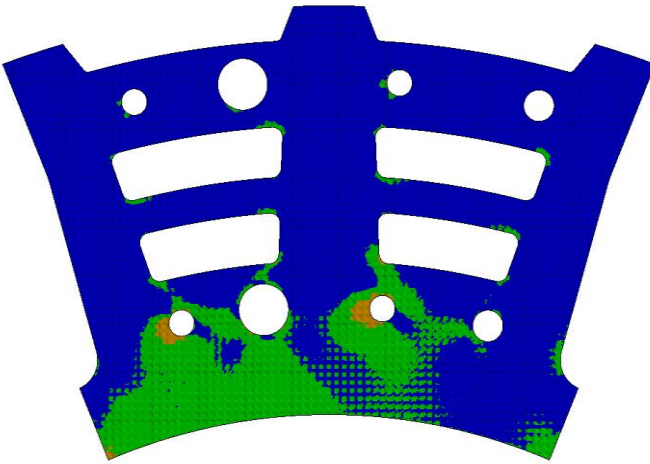
Şekil 8. Batmalı Ana sac Asal Gerilme.



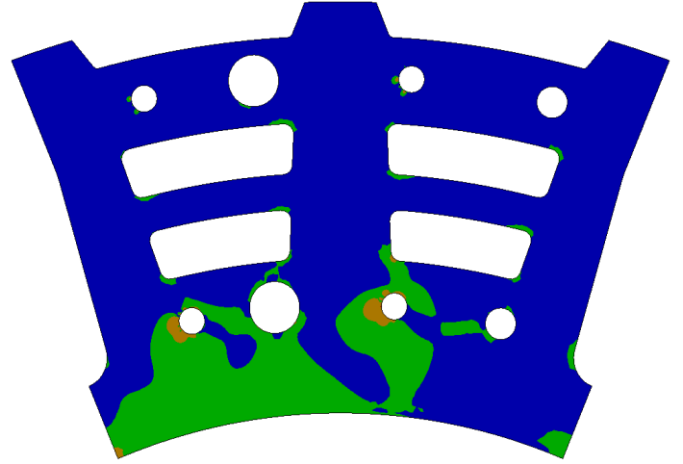
Şekil 9. Batmasız Ana sac Asal Gerilme.

Eş değer gerilme sonuçları gerilme değerlerinin enerji yoğunluklarını gösterirken gerçek gerilmeyi asal gerilme sonuçlarında inceleyebiliriz. Batmasız ana sac analizinin sonuçlarında asal gerilme 139,04 görülürken batma operasyonu sonrasında aynı sınır şartları ve yüklemelere tabii tutulan parça üzerinde gerilmeler 120,42 olarak gözlemlenmiştir.

## C. GÜVENLİK KATSAYISI



Şekil 10. Batmalı Ana sac Güvenlik Katsayısı.



Şekil 11. Batmasız Ana sac Güvenlik Katsayısı.

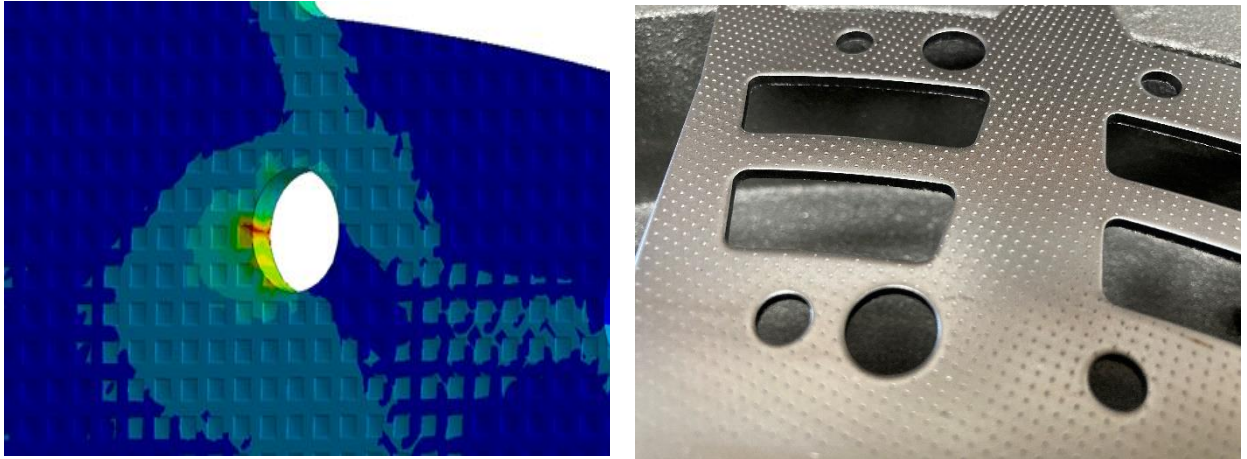
Dislokasyonlar malzemenin stresini ve mukavemetini artırır bu sebeple parçanın güvenlik katsayısı artar. Batmasız ana sac analizinde safety factor 0,94 iken batma operasyonundan sonra 1,10 seviyesine çıkmıştır. Analiz sırasında parça üzerine uygulanan kuvvet değeri çalışma şartlarında maruz kaldığı kuvvetin 1,5 katı alınarak yükleme sağlanmıştır.

	Batmasız Ana sac	Batmalı Ana Sac
Eşdeğer gerilme (MPa)	<b>211,74</b>	181,67
Maks. Asal Gerilme (MPa)	<b>139,04</b>	120,42
Safety Factor	<b>0,94</b>	1,10

#### D. TARTIŞMA VE ÇIKARIM

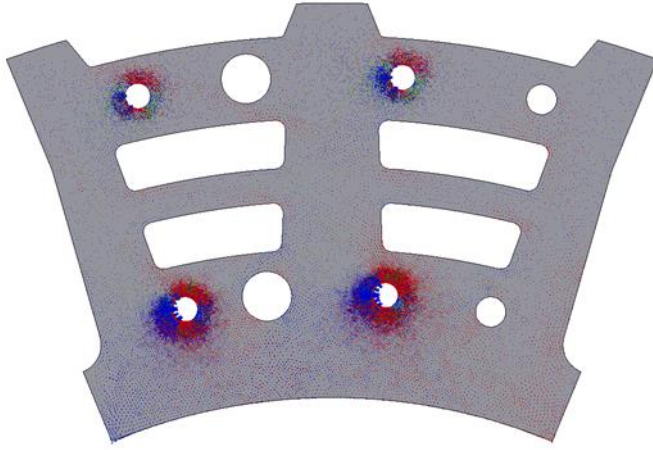
Debriyaj diski dış ana sacı tasarımında kullanılan yüzey batma operasyonlarının “perçin çevresi gerilme” durumlarına etkisi simule edilerek, iki farklı tasarımın sonuçları karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir.

Her iki geometriye de uygulanan eşit sınır şartları ve yüklemeler sonucunda maksimum gerilmelerin perçin temas yüzeylerinde olduğu görülmüştür. Batma operasyonu uygulanmayan ana sac tasarımında maksimum gerilme 211,74 MPa olarak ölçülen değer batmalı ana sac tasarımında 181,67 MPa olarak gözlemlenmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde batma operasyonu uygulanan ana sac tasarımının gerilme açısından %14,2 daha dayanıklı olduğu görülmektedir.

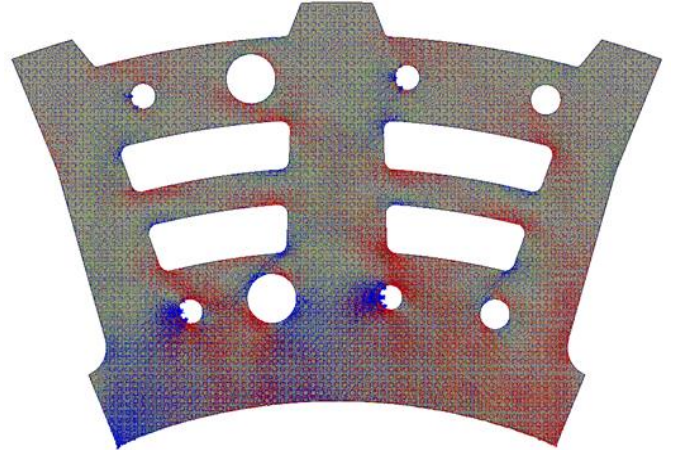


Şekil 12. Batmalı ana sac modeli ve gerçek görüntüsü.

Ana sac yüzeyindeki batma operasyonlarının perçin temas yüzeylerindeki gerilmelerin yanı sıra, perçin delikleri çevresinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Yoğunlaşan gerilme bölgelerini parça yüzeyine dağıtıp sönmölemek amacı ile batma operasyonları uygun bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Batmaların parça üzerinde gösterdiği etkiyi elde etmek için benzer bir uygulama olan shot peening (Bilyalı dövme) ile de malzemede plastik deformasyon ve artık gerilim oluşturarak yorulma ve korozyona karşı direncini arttırdığı literatürde bilinen bir prosestir. [6]



Şekil 13 . Batmasız ana sac vektörel gerilmeler.



Şekil 14. Batmalı ana sac vektörel gerilmeler.

Batma operasyonu uygulanan ana sac tasarımında gözlemlenen bir diğer etki ise, parçanın güvenlik katsayısının yükseltilmiş olduğudur. Batmasız ana sacda güvenlik katsayısı 0,94 iken batma operasyonu sonrasında bu sayı 1,10 değerine yükselerek daha güvenli olarak çalıştırılması öngörülmektedir. Yapılan analizler göstermektedir ki batma operasyonları bu ve benzeri yapılarda oluşacak gerilmelerin dağıtılarak çalışma koşullarında daha güvenli olarak işlev görmesini sağlayacaktır.

Debriyaj diski dış ana sac yüzeyinde oluşturulan batmalar, dış ana sac perçin delikleri ve yüzeyinde oluşan gerilmeleri sönmüleyerek %14,2 azalttığı görülmüştür. Bu sonuçlardan yola çıkarak Dönmez Debriyaj A.Ş bünyesinde batma operasyonu uygulanan bir dış ana sac parçası üretim araç testleri yapılarak tasarımın yaygınlaştırılması planlanmıştır.

Bu çalışmanın literatüre olan katkısını yorumlayacak olursak, baskı kuvveti ve moment ile zorlanan, perçinli bağlantı sağlanan sac malzemelerin bağlantı bölgelerinde oluşan gerilmeleri önlemek amacıyla batma prosesi uygulanabilir. Ayrıca debriyaj diski ana sac parçasının performansı arttıkça karşılayacağı moment miktarı da artar ve ağır ticari araç motorlarının üreteceği yüksek tork değerlerini şanzımana iletirken ana sac hasarlarını minimum seviyeye düşüreceklerdir.

**TEŞEKKÜR:** Çalışmamızda emeği geçen Dönmez Debriyaj A.Ş personeli ve desteklerini esirgemeyen Dönmez Debriyaj A.Ş genel müdürü Sn. Cumali ERTAŞ ve yönetim kurulumuza teşekkürlerimizi sunarız.

## **VI. KAYNAKLAR**

- [1] Abdullah, O. I., Schlattmann, J., & Al-Shabibi, A. M.,” Stresses and deformations analysis of a dry friction clutch system”, *Tribology in Industry*, vol. 35, no. 2, pp. 155-162, 2013.
- [2] Aerts, L.,” Eléments pratiques de la résistance des matériaux”,4., Liège, Belgium: J. Wouters-Ickx-Ch. Béranger, pp. 26-34, 1911
- [3] Moreira, P. M. G. P., De Matos, P. F. P., Camanho, P. P., Pastrama, S. D., & De Castro, P. M. S. T., “Stress intensity factor and load transfer analysis of a cracked riveted lap joint”, *Materials & design*, vol. 28, no. 4, pp. 1263-1270, 2007
- [4] Collette, Q., Wouters, I., Lauriks, L., & Verswijver, K.,” Morphogenesis of the theory and design principles of riveted connections in historical iron and steel structures”, *In Proc of the Int Conf on Structural Analysis of Historical Constructions (SAHC 2012)*, DWE Wroclaw, pp. 1080-1088, 2012.



- [5] Purohit, R., Khitoliya, P., & Koli, D. K., "Design and finite element analysis of an automotive clutch assembly", *Procedia materials science*, c. 6, pp. 490-502, 2014.
- [6] Meo, M., & Vignjevic, R., "Finite element analysis of residual stress induced by shot peening process". *Advances in Engineering Software*, c. 34, s. 9, pp. 569-575, 2003.
- [7] TIPIRINENI, V. Mani Kiran; RAO, P. Punna. Optimal Design of a Clutch Plate using Ansys. Editorial Committees, vol. 03, no.12, pp. 62, 2013



# Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

## Investigation of Engineering Properties of Lightweight Concrete Made With the Addition of Sodium Salt Based Powder Additive

 Serkan SUBASI <sup>a,\*</sup>,  Heydar DEHGHANPOUR <sup>b</sup>,  
 Betül ISBİLİR. K <sup>a</sup>,  Muhammed MARASLI <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Duzce University, Duzce, TURKEY

<sup>b</sup> R & D Center, Fibrobeton Company, Duzce, TURKEY

\* Corresponding author's e-mail address: serkansubasi@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1132617

### ABSTRACT

In the construction sector, which is needed for the rapidly increasing world population, the production of strong and safe buildings is given importance. This is achieved as a result of the functionality, durability and economical material production in construction materials. In order to reduce the dead load in buildings, the use of elements made of lightweight concrete is the most appropriate and alternative method. In the current study, lightweight concrete with 4 different mixtures was produced by using 0%, 0.5%, 1.5% and 2.5% powdered sodium salt-based styrene butadiene polymer admixtures (SBPA). The workability effect of the additive on the fresh mixtures was investigated by the flow table test. The 7 and 28 day compressive and flexural strengths of the obtained samples were tested. Density and porosity ratios of the samples were calculated before the 28-day compressive strength test. According to the results, it was observed that the additive material caused a slight decrease in workability. In addition, decreases were observed in mechanical strengths, but when compared with the literature, considering the decrease in density, it was understood that it is in the class of lightweight concretes with suitable strength.

**Keywords:** lightweight concrete, density, porosity, mechanical properties, powder additive

### ÖZET

## Sodyum tuzu esaslı toz katkı ilavesi ile üretilen hafif betonların mühendislik özelliklerinin araştırılması

Hızla artan dünya nüfusu için ihtiyaç duyulan inşaat sektöründe, güçlü ve güvenli binaların üretimine önem verilmektedir. Bu, yapı malzemelerinde işlevsellik, dayanıklılık ve ekonomik malzeme üretimi sonucunda elde edilmektedir. Binalarda ölü yükü azaltmak için hafif betondan yapılmış elemanların kullanılması en uygun ve alternatif yöntemdir. Bu çalışmada %0, %0,5, %1,5 ve %2,5 sodyum tuzu bazlı stiren bütadien polimer katkıları (SBPA) kullanılarak 4 farklı karışımla hafif beton üretilmiştir. Katkı maddesinin taze karışımlar üzerindeki işlenebilirlik etkisi yayılma tablosu testi ile araştırılmıştır. Elde edilen numunelerin 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları test edilmiştir. 28 günlük basınç dayanımı testinden önce numunelerin yoğunluk ve gözeneklilik oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre katkı maddesinin işlenebilirlikte bir miktar azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca mekanik dayanımlarda azalmalar gözlemlenmiş ancak literatürle karşılaştırıldığında yoğunluktaki azalma dikkate alındığında uygun dayanımlara sahip hafif betonlar sınıfında olduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** hafif beton, yoğunluk, gözeneklilik, mekanik özellikler, toz katkı

## **I. INTRODUCTION**

Concrete, whose application area has become very widespread since its invention, is used especially in load-bearing structural elements where high strength is required [1], [2]. The high unit weight of conventional concrete used in traditional reinforced concrete constructions is often a disadvantageous feature of this material [3]. Since the unit volume weights of the building elements are high, it creates significant problems in high-rise buildings. Even if there are larger openings than normal, the unit weight reaches very large dimensions, which increases the dead loads in the structures. It is a known fact that these structures are also adversely affected by earthquakes due to their excess weight [4].

Today, the importance of earthquake phenomenon is increasing day by day, the production of light building materials is gaining importance. Instead of traditional materials in building materials, the production of products with relatively lighter materials comes to the fore [5]. Significant reductions in the weight of structures manufactured with lightweight concrete are achieved [6]. This situation is effective in reducing the cross-sectional dimensions of the building elements and thus in making the building costs more economical. However, the fact that the compressive strength of lightweight concrete is lower than that of normal concrete is one of the disadvantages of lightweight concrete [7]. Nowadays, the production of lightweight concrete is carried out with various materials and construction methods. Special additives are used for this purpose [8], [9].

Contrary to popular belief, the history of chemical additives is not so new. The first chemical additive used in history is a calcium chloride-based set accelerator, and it is known that the first use dates back to 1873 and the first patent was obtained in 1885 [10]. While the rate of use of chemical additives in the ready mixed concrete sector at the beginning of the 90s did not reach 20% [11], today the use of additives in ready-mixed concrete is considered an indispensable element. Chemical additives can interact with the cement physically, electrically or physicochemically and change the hydration rate and rate of the cement. However, the main effect of chemical additives is physical. Chemical additives do not enter into a chemical reaction with the cement paste, but have an accelerating or slowing effect on the hydration of the cement paste indirectly [12].

Lightweight aggregate concrete was first used for floors in buildings. The use of lightweight concrete dates back to 3000 BC. Lightweight concrete was used in the construction of Babul Palaces in Iraq in the 3rd century, and the current Ayasofya Mosque, which was built by the Sumerians in the 4th century. They are lightweight aggregate concretes produced by using natural and artificial lightweight aggregates with voids instead of normal aggregates, and very light and multi-void aggregates such as pumice stone, expanded perlite, expanded clay, plastic foam or wood shavings are used as lightweight aggregates [13].

Due to the low modulus of elasticity of lightweight concretes, the creep is high [14]. Excessive use of cement and less rigidity of the aggregate also increase the shrinkage [15]. We can reduce the water-cement ratio to prevent shrinkage. The shrinkage of lightweight concrete is 20% higher than that of normal concrete. The higher the stiffness of the aggregate, the lower the shrinkage. Water absorption amount of lightweight concrete is 12-22% higher than normal concrete. Lightweight concretes are weaker against freeze-thaw effects compared to normal concrete, due to the porous structure of lightweight aggregates [16], [17]. It has this feature in air-entraining lightweight concretes and aerated concretes [18]. Reducing the water-cement ratio of concrete can increase the frost resistance of concrete [19].

Lightweight concretes have a unit weight of 300–1850 kg/m<sup>3</sup>, and their compressive strength is in the range of 0.3–90 MPa. Generally, lightweight concretes with a unit weight of 1850 kg/m<sup>3</sup> and a compressive strength of more than 17 MPa are called load-bearing lightweight concrete. Lightweight concretes with a unit weight of 1400-1600 kg/ m<sup>3</sup> and a compressive strength of 10-15 MPa are in the

medium strength concrete class. Insulation lightweight concretes are non-structural, have a density of 700–1400 kg/m<sup>3</sup> and a compressive strength of around 10 MPa [20].

In general, it is aimed to change and improve some concrete properties and to give new properties to concrete by changing the portland cement matrix phase and aggregate phase in some way. Although these special types of concrete have been used in the construction industry for a long time, some of them are brought to the concrete industry with new studies. In this study, it was aimed to investigate some mechanical and physical properties of lightweight concretes produced with a sodium salt-based chemical additive in powder form.

## **II. MATERIALS AND METHOD**

### **A. USED MATERIALS**

CEM-1 42.5 R type cement produced by Nuh Çimento Sanayi A.Ş. was used in the experiments. The physical and chemical properties of this cement are given in the Table 1. Standard sand in accordance with TS EN 196-1 [21] was used as filling material in the mixtures. In the experiments carried out in the laboratory, the university's tap water with a pH of 7.05 was used as the mixing water. For the production of lightweight concrete, sodium salt-based styrene butadiene polymer admixtures (SBPA) obtained from Aerodurit Company and trade name Konzentrat 2000 were used. Some physical and chemical properties of the chemical additive are given in Table 2. Mixture details of mortars containing additives in different ratios are given in the Table 3.

*Table 1. Chemical components of cement used.*

<b>Components</b>	<b>Ratio (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	20.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.27
CaO	63.01
MgO	2.49
SO <sub>3</sub>	2.26
Cl	0.006
L.O.I.	1.64
Undetectable	1.68

*Table 2. Physical and chemical properties of the chemical additive.*

Form	powder
Colour	Light Yellow, Light brown
Smeel	Mild Fragrance
PH value	6.9-9.7
Flash point	>89°C
Bulk Density	380 kg/m <sup>3</sup>

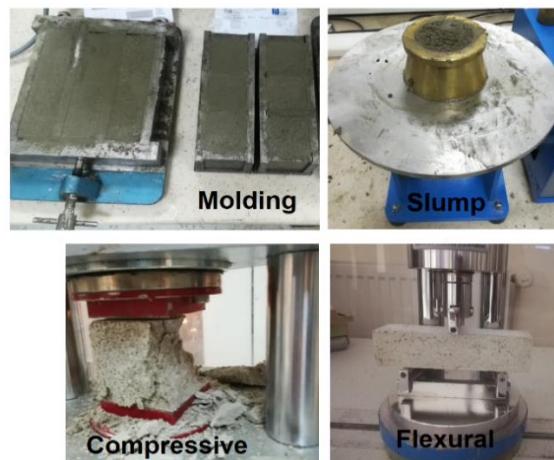
*Table 3. Mixture details.*

<b>Sample code</b>	<b>Sand (g)</b>	<b>Cement (g)</b>	<b>Water (g)</b>	<b>SBPA (%)</b>
Ref	1350	450	189	0
LWC1	1343	448	189	0.5
LWC2	1357	443	189	1.5
LWC3	1361	439	189	2.5

## B. TEST METHODS

In this study, in order to obtain lightweight concrete and investigate its engineering properties, 3 different lightweight concrete mixtures were obtained by using chemical additives in different ratios (0.5 wt%, 1.5 wt% and 2.5 wt%). The samples were cast in two different forms as 50 x 50 x 50 mm cube and 40 x 40 x 160 mm prismatic. Water curing process was applied for 7 and 28 days. After curing, the samples were subjected to compressive and flexural strength tests according to the related standards. In addition, the slump and density values of the samples were determined.

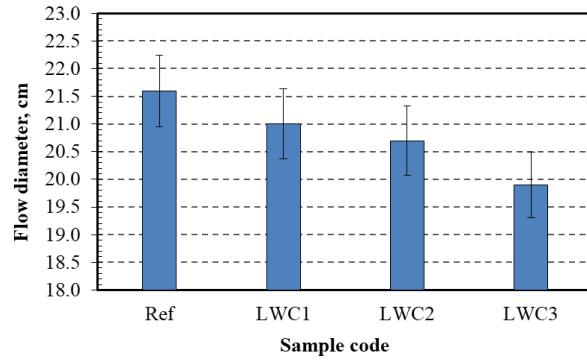
After the mixtures were prepared, flow table test has been performed according to TS EN 1015-3 standard [22] to control their workability. Flexural and compressive strength tests were carried out in accordance with the TS EN 196-1 standard [21]. In addition, densities were calculated by measuring the dry weight and dimensions of all 7 and 28-day samples. Fig. 1 shows images from the test flow.



*Figure 1. Images from the experiment flow.*

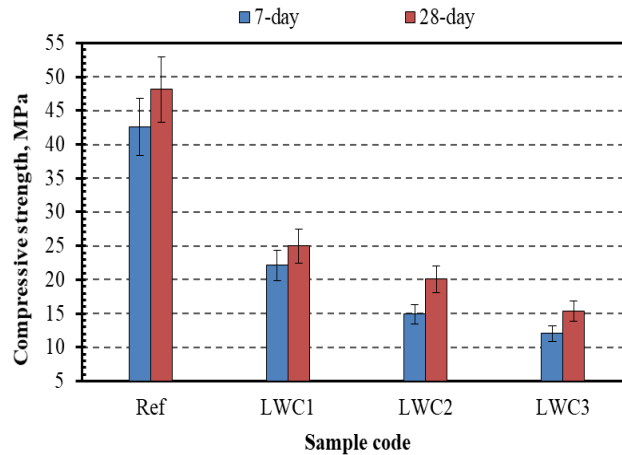
## III. RESULTS

The mechanical and density properties of light mortars produced using sodium salt-based additives were investigated and presented in detail in this section. When the Slump flow (Fig. 2) test results of the fresh mortars were examined, a slight reduction effect of the additive on the consistency was observed. The flow diameter of the LWC1 mixture containing 0.5 wt% SBPA was 2.78% lower than Ref. Also, flow diameters of LWC2 and LWC3 mixtures were 4.17% and 7.87% less, respectively, compared to Ref. When Comparing only between mixtures containing SBPA, it was observed that the flow diameters of LWC2 and LWC3 were 1.43% and 3.86% lower, respectively, compared to LWC1. This shows that a further increase in the additive ratio leads to more decrease in workability.



**Figure 2.** Slump flow diameter values.

The 7 and 28-day compressive strength results of the mortar samples obtained from four different mixtures, including Ref, are shown in Fig. 3 comparatively. It was observed that the maximum 28-day compressive strength belonged to Ref as 48.13 MPa and the minimum 28-day compressive strength to the LWC3 mixture as 15.35 MPa. The 28-day compressive strengths of all samples increased at similar rates compared to the 7-days. For example, the strength of Ref and LWC1 improved by 12.98% and 13.03%, respectively. When the compressive strength results are correlated with the additive ratio, the strength of the mixture with low additives decreased more significantly than the mixture with high ratio additives. The 28-day compressive strength of LWC1, LWC2 and LWC3 decreased by 48.10%, 58.30% and 68.11%, respectively, compared to Ref. When the compressive strength results were compared with the flow diameter values, it was observed that there was a clear parallel relationship between them.



**Figure 3.** Compressive strength results.

The 7 and 28-day flexural strength results of the mortar samples obtained from four different mixtures, including Ref, are shown in Fig. 4. When the flexural strength results were examined, in contrast to the compressive strength results, 0.5% SBPA content did not affect the flexural strength. The most effective additive ratio on compressive strength was 0.5%, and the ratios of 1.5% and 2.5% were slightly affected. However, the 0.5% additive ratio was completely ineffective in the flexural strength results, and the strength was adversely affected when the additive ratios were 1.5% and 2.5%. The 28-day flexural strengths of all samples increased at similar rates compared to the 7-days. For example, the strength of Ref and LWC1 improved by 37.14% and 34.66%, respectively. The 28-day flexural strength of LWC1, LWC2 and LWC3 decreased by 4.36%, 25.76% and 55.11%, respectively, compared to Ref. It was observed that the maximum 28-day flexural strength belonged to Ref as 5.28 MPa and the minimum 28-day flexural strength to the LWC3 mixture as 2.37 MPa.

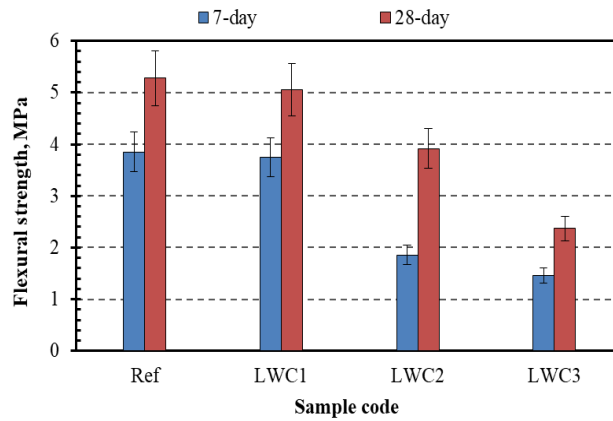


Figure 4. Flexural strength results.

Density and porosity properties of the produced 28-day mortar samples were examined and compared in Fig 5. Density values were between 1.73-2.13 g/cm<sup>3</sup> and porosity ratios were between 10.93% and 21.80%. Considering the density and porosity results, it is seen that there is a strong inverse relationship between them. Depending on the increase in the SBPA ratio, the density values decreased while the porosity ratio increased. The exponential equations produced in this context were obtained according to the 0%-2.5% dosage used and can be referenced in other studies according to their high correlation coefficients. However, these equations are valid for 0.5-2.5% SBPA, different relationships can be observed at different dosage ranges. Density values of LWC1, LWC2 and LWC3 decreased by 8.92%, 14.08% and 18.78%, respectively, compared to Ref. Also porosity ratios of same samples increased by 15.65%, 55.35% and 99.45%, respectively, compared to Ref. It shows that the porosity ratio is more affected than the density, and the non-void filled regions of the sample have a more dense and rigid structure.

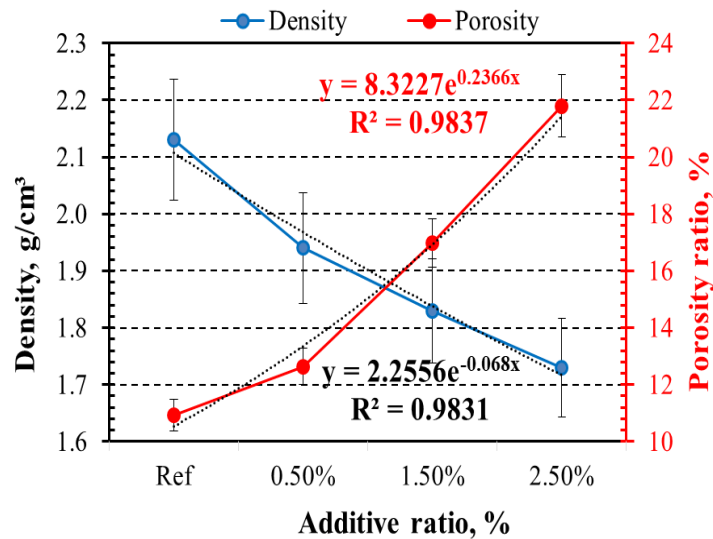


Figure 5. Density and porosity values of 28-day mortars.

A consistent linear relationship was observed between all data in this study. For example, the relationships between density-compressive and density-flexural results are explored in Fig. 6. According to Fig. 6, correlation slope between flexural-density was more severe than the correlation slope between compressive-density. The observed parallel relationship between compressive strength and flexural strength was also observed among the workability (flow diameter) results. However, looking at the intensity of decrease in values, the decrease slope of the results obtained for the flow values was more similar to the decrease slope of the values obtained for the flexural strength. In other words, the additive ratio had a sudden effect on the compressive strength at the first rate (%0.5), whereas the bending results began to be affected more at 1.5%.

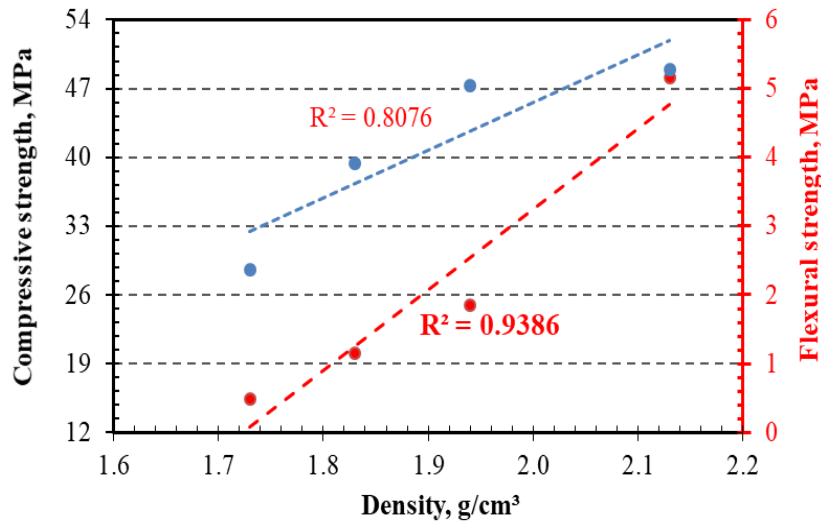


Figure 6. Relationship between 28-day compressive and flexural strength.

## IV. DISCUSSION

In the literature, the effects of sodium salt-based admixtures on lightweight concrete have been investigated for different purposes. Wei et al. [23] used various sodium salts in a fly ash/coal mixture to investigate the effect of sodium salt types on the formation mechanism of lightweight aggregates. Microanalysis results showed that despite the great similarity in melting point of salt additives, the change of additive from one sodium salt to another leads to significantly different light aggregate formation mechanism and thus affects aggregate properties. All sodium salts can indirectly form sodium silicate with  $\text{SiO}_2$  in the volatile charcoal/glass mixture following two-step sequential reactions. Sodium silicates are recommended as the main components of the viscous layer during sintering; they can envelop bloated gases to expand the size of lightweight aggregates. The solubility of the coal fly ash/glass mixture in molten  $\text{NaCl}$  during sintering is not as great as in molten  $\text{Na}_2\text{O}$  and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , thus requiring a higher sintering temperature to prepare lightweight aggregates. In the literature [24], there are also studies on the production of aggregates with higher porosity using sodium salt-based additives.

Since the additive used is in powder form, it absorbed the water in the mixture and adversely affected the workability of the fresh mortar. Similarly, negative effects of different powder additives on workability have been confirmed in the literature. Zaleska et al. [25] investigated the effects of crushed polypropylene random copolymer, regranulated polypropylene random copolymer, and crushed glass fiber reinforced polypropylene powders on lightweight concrete. Flow table results showed that workability was significantly reduced. However, little positive effect of SBPA on machinability has also been reported in the literature [26], [27]. Also the workability of fresh mixtures was found closely related to the shape of particles; the particles with sharp edges (crushed plastic aggregates CPPR and CPPGF) worsened the workability more than particles with round shapes (regranulated plastic aggregates RPPR). The difference between this study and the present study is that in this study, the authors used the powders mentioned as substitutes instead of aggregates. Whereas, in the present study, the powder used was used as an additive material at low rates.

When the obtained porosity and density values are compared with their mechanical properties, it is understood that the produced concrete is among the lightweight concretes with suitable strength. Bogas et al. [28] produced lightweight concretes with sufficient stability and self-compactability for compressive strengths between 37.4 and 60.8 MPa, density classes 1.8–2.0  $\text{g/cm}^3$ , and fine grain content of 490–599  $\text{kg/m}^3$  containing 33% by weight fly ash. Zaleska et al., using different types of waste powders, produced lightweight concretes with a bulk density of 1.20–1.85 and a compressive strength of 3.6–50.2 MPa. Tassew and Lubell [29] produced lightweight concretes with a density of about 1.60–1.85 and a compressive strength of 15–40 MPa. In the present study, the density values were between 1.73–2.13  $\text{g/cm}^3$ , the porosity ratios were between 10.93–21.8% and the compressive strength was 15.35–48.13 MPa.



## **V. CONCLUSION**

For the production of lightweight concrete, 4 different cementitious mixtures were obtained by using sodium salt-based powder additives at different rates. Flow table test was performed to investigate the workability of the mixtures. 4 x 4 x 16 cm prismatic samples were produced to determine the flexural strength and 5 x 5 cm cube samples were produced to determine the compressive strength from all mixtures. In addition, 28-day cube samples were used to determine the density and porosity ratio. The results obtained were as follows.

According to the flow table test results, it was observed that the diameter of the flow linearly decreased up to 7.87% with the increase of the additive ratio from 0% to 2.5%. With the addition of the additive material, the compressive strength and flexural strength decreased, but the 0.5% additive rate strongly affected the compressive strength while this ratio had insignificant effect on the flexural strength. The lowest compressive and flexural strength values were observed for the mixture containing 2.5% additive with 55.11% and 68.11% reductions, respectively. With the addition of additives, significant decreases were observed in the density values, which confirmed its suitability for lightweight concretes class when compared with the literature. The relationship between density and compressive and flexural strength results was investigated and a linear relationship between them was confirmed. As a result, it has been confirmed by the results of this study that the SBPA admixture used in this study is a suitable additive material for the production of lightweight concrete. For future studies, it is recommended to examine this material in wider ranges and to conduct tests such as durability.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** We would like to thank fibrobeton company - R&D department, which sponsored this study, for their support.

## **VI. REFERENCES**

- [1] D.D. Double, A. Hellawell, "The Solidification of Cement," *Sci. Am.* vol. 237, pp. 82–90, 1977. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0777-82>.
- [2] H.J. Cowan, "A history of masonry and concrete domes in building construction," *Build. Environ.* vol. 12, pp. 1–24, 1977. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(77\)90002-6](https://doi.org/10.1016/0360-1323(77)90002-6).
- [3] P.K. Mehta, P.J.M. Monteiro, "Concrete Microstructure, Properties, and Materials," *McGraw-Hill Educ.* pp. 1–19, 2014.
- [4] D. Fugazza, "Shape-Memory Alloy Devices in Earthquake Engineering: Mechanical Properties, Constitutive Modelling and Numerical Simulations," *Eur. Sch. Adv. Stud. Reduct. Seism. Risk.* vol. 148, 2003.
- [5] K. Yildirim, M. Sumer, S. Subasi, "Hafif Beton Üretiminde Granüle Edilmiş Fındık Kabuğunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması," c. 2, pp. 501–511, 2018.
- [6] K.D. Raithby, F.D. Lydon, "Lightweight concrete in highway bridges," *Int. J. Cem. Compos. Light. Concr.* vol. 3, pp. 133–146, 1981. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(81\)90007-5](https://doi.org/10.1016/0262-5075(81)90007-5).
- [7] O. Sengul, S. Azizi, F. Karaosmanoglu, M.A. Tasdemir, "Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete," *Energy Build.* vol. 43, pp. 671–676, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.008>.
- [8] I.H. Ling, D.C.L. Teo, "Properties of EPS RHA lightweight concrete bricks under different curing conditions," *Constr. Build. Mater.* vol. 25, pp. 3648–3655, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.061>.
- [9] K.A. Mohd Sari, A.R. Mohammed Sani, "Applications of Foamed Lightweight Concrete,"

*MATEC Web Conf.* 97 pp. 1–5, 2017. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179701097>.

[10] V. Ramachandran, “Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science and Technology,” *Noyes Puublications*. pp. 1–1183, 1996.

[11] V. Ramachandran, M. Malhotra, “Concrete Admixtures Handbook-Part 7: Superplasticizers,” *Noyes Puublications*. 1984.

[12] Ö. Ateşin, “Analyzing and Modeling the Effect of High Dosage Admixture Usage on Micro Concrete Properties,” *Eskişehir Osmangazi Univ. Inst. Sci. Technol. Dr. Thesis*. pp. 1–132, 2017.

[13] S. Chandra, B. Leif, “Lightweight Aggregate Concrete,” *Noyes Puublications*. pp. 1–369, 2002.

[14] M. Gesoğlu, T. Özturan, E. Güneyisi, “Effects of cold-bonded fly ash aggregate properties on the shrinkage cracking of lightweight concretes,” *Cem. Concr. Compos.* vol. 28, pp. 598–605, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.04.002>.

[15] J. de Brito, R. Robles, “Recycled aggregate concrete (RAC) methodology for estimating its long-term properties,” *Indian J. Eng. Mater. Sci.* vol. 17, pp. 449–462, 2010.

[16] N.U. Kockal, T. Ozturan, “Durability of lightweight concretes with lightweight fly ash aggregates,” *Constr. Build. Mater.* vol. 25, pp. 1430–1438, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.09.022>.

[17] C. Zhu, J. Niu, J. Li, C. Wan, J. Peng, “Effect of aggregate saturation degree on the freeze–thaw resistance of high performance polypropylene fiber lightweight aggregate concrete,” *Constr. Build. Mater.* vol. 145, pp. 367–375, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.039>.

[18] N. Narayanan, K. Ramamurthy, “Structure and properties of aerated concrete: A review,” *Cem. Concr. Compos.* vol. 22, pp. 321–329, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00016-0).

[19] K.C. Hover, “Concrete mixture proportioning with water-reducing admixtures to enhance durability: A quantitative model,” *Cem. Concr. Compos.* vol. 20, pp. 113–119, 1998. [https://doi.org/10.1016/s0958-9465\(98\)00002-x](https://doi.org/10.1016/s0958-9465(98)00002-x).

[20] S.C.C. Bate, “Guide for structural lightweight aggregate concrete: report of ACI committee 213,” *Int. J. Cem. Compos. Light. Concr.* vol. 1, pp. 5–6, 1979. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(79\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0262-5075(79)90004-6).

[21] TS EN 196-1, “Methods of testing cement–Part 1: Determination of strength,” *Turkish Stand.* 2005.

[22] TS EN 1015-3, “Methods of test for mortar for masonry- Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table),” *Turkish Stand.* 2005.

[23] Y. Wei, S. Cheng, W. Chen, Y. Lu, K. Chen, P. Wu, “Influence of various sodium salt species on formation mechanism of lightweight aggregates made from coal fly ash-based material,” *Constr. Build. Mater.* vol. 239, pp. 117890, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117890>.

[24] M. Olga, “Porous aggregate development for lightweight concrete,” 06008 pp. 1–9, 2020.

[25] Z. Pavlík, M. Záleská, M. Pavlíková, J. Pokorný, C. Robert, “Structural , mechanical and hygrothermal properties of lightweight concrete based on the application of waste plastics,” vol. 180, pp. 1–11, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.250>.

[26] M. Dođan, A. Bideci, “Effect of Styrene Butadiene Copolymer (SBR) admixture on high strength concrete,” *Constr. Build. Mater.* vol. 112, pp. 378–385, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.204>.

[27] A. BİDECİ, M. DOĐAN, B. ÇOMAK, Ö.S. BİDECİ, E. BESLİ, “Stiren-Bütadien Kopolimer Katkısının Çimento Harçlarına Etkisi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.* c. 4, pp. 67–76, 2016. <http://dergipark.gov.tr/dubited/issue/24381/258449>.

[28] J.A. Bogas, A. Gomes, M.F.C. Pereira, “Self-compacting lightweight concrete produced with expanded clay aggregate,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 35, pp. 1013–1022, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.111>.

[29] S.T. Tassew, A.S. Lubell, “Mechanical properties of lightweight ceramic concrete,” pp. 561–574, 2012. <https://doi.org/10.1617/s11527-011-9782-1>.