

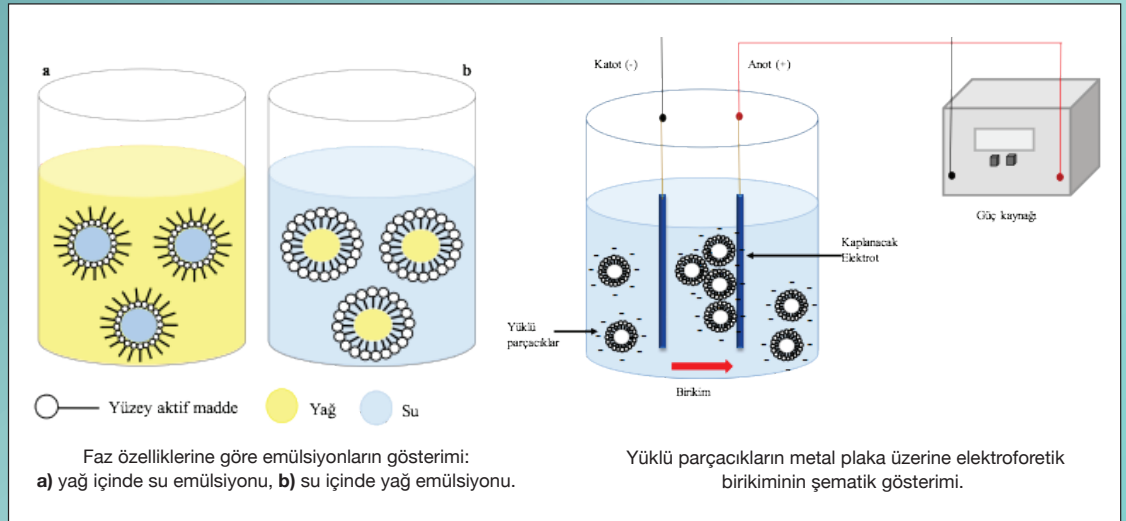


# Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Tarafından Yayınlanmaktadır

Published by the Zonguldak Bülent Ecevit University

## Karaelmas Science and Engineering Journal



- Effect of *Beauveria bassiana* on *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) and Its Parasitoid *Trichogramma cacoeciae*
- Flaş Elektoretinogram (fERG) Testi İçin Normal Değerlerin Belirlenmesi
- Farklı Kadmiyum ve Kurşun Oranlarının Ergin *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae)'nin Yumurta Üretimi ve Açılımı Üzerine Etkileri
- Determining Gaze Information from Steady-State Visually-Evoked Potentials
- Mikroemülsiyon Tekniği ile Üretilmiş Hidroksiapatit Nanoparçacıkların Ti6Al4V Altlıklar Üzerine Elektroforetik Biriktirme Yöntemi ile Kaplanması ve Vakum Ortamında Sinterlenmeleri
- Rüzgar Enerjisi Santral (RES) Yapım Yerlerinin CBS Dayalı Çok Kriterli Karar Analizi ile Belirlenmesi: Yenice İlçesi (KARABÜK) Örneği
- Effect of Alkali Content and Activator Modulus on Mechanical Properties of Alkali Activated Mortars
- Meme Kanserinin Evrimsel Sinir Ağı Modelleriyle Tespitinde Farklı Görüntü Büyütme Oranlarının Etkisi
- Finite Elements Modeling and Analysis of an Axially Loaded Prestressing Strand
- The Theoretical Investigation on Electronic Behavior and Mechanical Properties of Ferromagnet Silver-Based Telluride:  $Ag_3FeTe_4$

Cilt / Volume: 10  
Sayı / Number: 2  
Aralık/December 2020

ISSN: 2146-4987  
E-ISSN: 2146-7277

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



## Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi

Dergi web sayfası: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Yayın Organı

*Official Journal of Zonguldak Bülent Ecevit University*

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Adına Sahibi <i>Owner on behalf of Zonguldak Bülent Ecevit University</i>	Mustafa ÇUFALI Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Rektörü
<b>Sorumlu Müdür/Publishing Manager</b>	Yasin HAZER Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Botanik Anabilim Dalı
<b>Yönetim Yeri/Head Office</b>	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Dekanlığı, 67100, İncivez, Zonguldak
<b>Redaksiyon ve Teknik Destek/ Redaction and Technical Support</b>	Salih ERDEM Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
<b>Yazışma Adresi/Correspondence Address</b>	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Yeni Bina, İncivez, 67100, Zonguldak Tel : +90 372 291 11 00 Faks: +90 372 257 41 81
<b>İnternet Adresi/Web Address</b>	<a href="https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen">https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen</a>
<b>Editör/Editor</b>	Kemal BÜYÜKGÜZEL Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Rektör Yardımcısı
<b>Yayınevi/Publishing House</b>	Buluş Tasarım ve Matbaacılık Hizmetleri, Bahriye Üçok Cad. 9/1 06500 Beşevler, Ankara, Tel: +90 312 222 44 06 Faks: +90 312 222 44 07 <a href="http://www.bulustasarim.com.tr">www.bulustasarim.com.tr</a>
<b>Yayın Türü/Publication Type</b>	Yerel Süreli / <i>Periodical</i> Yılda iki sayı yayımlanır: Haziran, Aralık <i>Published two issues per year: June, December</i> ISSN: 2146-4987

Bu dergideki yazıların dergi standartlarına uygunluğunun kontrolü, dizimi, derginin yayıma hazır hale getirilmesi BULUŞ Tasarım ve Matbaacılık Hizmetleri San.Tic. tarafından gerçekleştirilmiştir.

*Review of the articles in the journal to make sure they conform to publishing standards, typesetting, getting the journal ready for publication and finally the publishing process has been the responsibility of Buluş Design and Printing Services Company.*

**Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi**Dergi web sayfası: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>

Yılda iki sayı yayımlanır

Published two issues per year



<b>Editör</b> <i>Editor</i>	Kemal BÜYÜKGÜZEL	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University</i>
<b>Yardımcı Editörler</b> <i>Associate Editors</i>	Şenol ALAN Rıdvan BALDIK Mehmet GÜMÜŞ Yasin HAZER Aytaç ONUR Ahmet ÖZARSLAN İsmail Hakkı ÖZÖLÇER Umut Güneş SEFERCİK Yüksel SOYKAN Rukiye UZUN Burcu ÜNAL	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University</i>
<b>İngilizce Redaksiyon</b> <i>English Redaction</i>	Mehmet GÜMÜŞ	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University</i>
<b>Sorumlu Müdür</b> <i>Publishing Manager</i>	Yasin HAZER	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University</i>
<b>Uluslararası Yayın Kurulu</b> <i>International Editorial Board</i>	Ferhan ATICI Nuri AKÇİN Bülent BARADAN Martin BOHNER Kemal BÜYÜKGÜZEL Suna CEBESOY Neil CUMBERLIDGE Hülya KESKİN ÇİTİROĞLU Ali DEMİR Enver DURMUŞOĞLU Ten FEIZI Hasan GERÇEK Nursel GÜL Adem GÜLEL Haluk GÜVEN Baki HAZER Akira HIRAO Remzi KARAGÜZEL Mehmet KARATAŞ Figen KAYA Türkan KOPAÇ Per Nicolai MARTENS Boris NATALIN Mahmut ÖZER Münevver PINAR Rafat SIDDIQUE Mustafa SÖZEN David W. STANLEY Cladue TOUZET Gürdal TUNCEL A. Galip ÜLSOY Yılmaz YILDIRIM İskender YILGÖR	Western Kentucky University, United States Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey 9 Eylül University, İzmir, Turkey Missouri University of Science and Technology, United States Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Ankara University, Ankara, Turkey Northern Michigan University, Michigan, United States YKOP, Aydın, Turkey İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey Ege University, İzmir, Turkey Imperial College London, United Kingdom Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Ankara University, Ankara, Turkey Ondokuz Mayıs University, Samsun, Turkey Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Tokyo Institute of Technology, Japan İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey Necmettin Erbakan University, Konya, Turkey Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey RWTH Aachen University, Germany İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Ankara University, Ankara, Turkey Civil Engineering Thapar University, Paitala (Punjab), India Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Agricultural Research Service-USDA, United States University of Provence, Marseille Cedex, France Koç University, İstanbul, Turkey University of Michigan, United States Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Koç University, İstanbul, Turkey



## AMAÇ ve KAPSAM

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi (<https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>), Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nin resmi yayın organıdır.

Derginin amacı, Fen Bilimleri, Temel Sağlık Bilimleri ve Mühendislik Bilimleri alanlarında yapılan özgün araştırma makaleleri, derlemeler, kısa makaleler, teknik not, kitap eleştirileri ve bilimsel nitelikli editöre mektupları yayınlayan uluslar arası ve saygın bilimsel bir dergi olmaktır.

Bu dergide yayınlanan makaleler, bağımsız ve önyargısız çift-körleme hakemlik (peer-review) ilkeleri doğrultusunda bir danışma kurulu tarafından değerlendirilir. Makaleler başlıca altı kategoride yayımlanır: (1) "Araştırma Makaleleri", (2) "Derleme Makaleler", (3) "Kısa Makaleler", (4) "Teknik Not ve Vaka Takdimleri", (5) "Editöre Mektuplar", (6) "Kitap ve Yazılım Programı Eleştirileri". Makaleler Türkçe veya İngilizce dillerinde yazılabilir; İngilizce veya Türkçe Özetler ile anahtar sözcükler içermelidir.

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, Haziran ve Aralık aylarında olmak üzere yılda iki kez yayınlanmaktadır ve <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen> internet adresi üzerinden takip edilebilir.

### Yayın İzni

Bireysel kullanım dışında, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi'nde yayımlanan makaleler, şekiller ve çizelgeler yazılı izni olmaksızın çoğal-

tılamaz, bir sistemde arşivlenemez veya reklam ya da tanıtım amaçlı materyallerde kullanılamaz.

Bilimsel makalelerde, uygun şekilde kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

### Abone İşlemleri

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, Üniversite Kütüphanelerine ve bilim insanlarına düzenli olarak ulaştırılmaktadır. Yayımlanan makalelerin tam metnine, çizelgelerine ve özetlerine çevrim-içi olarak <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen> adresinden ücretsiz olarak erişilebilmektedir.

### Yazıların Bilimsel ve Hukuki Sorumluluğu

Yayımlanan yazıların bilimsel ve hukuki sorumluluğu yazarlarına aittir. Yazıların içeriğinden ve kaynakların doğruluğundan yazarlar sorumludur. Editör, Yardımcı Editörler, Yayın ve Danışma Kurulu üyeleri ve Yayımcı, dergideki hatalardan veya bilgilerin kullanımından doğacak olan sonuçlardan dolayı sorumluluk kabul etmez.

Yazarlarımızın etik ihlalleri ile ilgili tüm iddia ve kesinleşmiş süreçler kendi sorumluluklarında olup, kesinleşen etik ihlalleri durumunda makale otomatik iptal edilir.

## AIMS and SCOPE

Karaelmas Science and Engineering Journal (<https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>), is the official journal of Zonguldak Bülent Ecevit University.

The journal's aim is to be scientific journal publishing original papers, reviews, short communications, technical notes and scientific editorial letters of science in the following areas: basic sciences, basic medicine science and engineering fields.

Articles submitted to this journal are evaluated in a double blinded peer-reviewed fashion by an advisory committee. Articles are published mainly in six categories: (1) "Research articles", (2) "Review Articles", (3) "Short Communications", (4) "Technical Notes and Case Reports", (5) "Letters to the Editor" and (6) "Book/Software Reviews". All articles may be written in Turkish or English, and should include English and Turkish abstracts and key words.

Karaelmas Science and Engineering Journal is published two issues per year in June and December.

The journal has also been available on-line by a website: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>

### Permission Requests

Manuscripts, figures and tables published in the Karaelmas Science and

Engineering Journal cannot be reproduced, archived in a retrieval system, or used for advertising purposes, except personal use.

Quotations may be used in scientific articles with proper referral.

### Subscriptions

Karaelmas Science and Engineering Journal is delivered complimentary to University Library and scientists. Tables of contents, abstracts and full texts of all articles published are accessible free of charge through the web site <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>

### Material Disclaimer

Scientific and legal responsibilities pertaining to the papers belong to the authors. Contents of the manuscripts and accuracy of references are also at the authors' responsibility. Editor, Associate Editors, Editorial and Advisory Board members and the Publisher decline responsibility for errors or any consequences arising from the use of information contained in this journal.

All claims and finalized processes regarding violations of ethics by our authors are under their own responsibility, and in case of ethical violations, the article is automatically canceled.



## YAZARLARA BİLGİLER

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, Fen Bilimleri, Temel Sağlık Bilimleri ve Mühendislik Bilimleri alanlarında yapılan özgün araştırma makaleleri, derlemeler, kısa makaleler, teknik not, kitap eleştirileri ve bilimsel nitelikli editöre mektupları yayınlayan uluslararası bir dergidir. Aralık ve Haziran aylarında olmak üzere yılda iki kez yayınlanır. Dergi, <http://fbd.beun.edu.tr> internet adresi üzerinden takip edilebilir.

Dergide yayınlanacak makale türleri aşağıdaki gibidir.

**Araştırma makalesi:** Makale mutlaka orijinal ve daha önce hiç bir dergide basılmamış veya sunulmamış olmalı, tablo ve şekiller dahil 20 sayfayı geçmemelidir.

**Derlemeler:** Herhangi bir araştırma alanındaki son yıllarda yaşanan gelişmeleri ve bu konuda son yıllarda yapılmış çalışmaların bir araya getirildiği makale türüdür. 15 sayfayı geçmemelidir.

**Kısa makaleler:** Küçük çapta yapılan çalışmalar, orijinal araştırma deneylerinin ön sonuçlarından, yeni buluşlar ve klinik deneylerden oluşmalı ve 5 sayfayı geçmemelidir.

**Teknik notlar, Olgu sunumları:** Bilimsel olarak önemli katkı sunan raporlardan oluşmalı ve 3 sayfayı geçmemelidir.

**Editöre mektuplar:** Herhangi bir araştırma konusuna ait fikirler, haberleri, önerileri kapsamalıdır ve 2 sayfayı geçmemelidir.

**Kitap veya yazılım programlarına ait eleştiriler:** Kitap veya yazılım programı hakkındaki kısa ve özet bilgileri içermelidir ve 1 sayfayı geçmemelidir.

### YAYIN KURALLARI

Dergide yayınlanacak makalelerin yazım dili Türkçe veya İngilizcedir. Yazım kurallarına uymayan makaleler, hakemlere gönderilmeden düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir. Bu nedenle derginin yazım kuralları dikkate alınmalıdır. Makaleler şekiller ve çizelgeler dahil 20 sayfayı geçmemelidir. Dergiye yayın için gönderilen makaleler iki uzman hakem tarafından değerlendirilir ve yayınlanmasına editör tarafından karar verilir. Dergiye gönderilen yazılar başka bir yerde yayınlanmamış veya yayınlamak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Dergide yayınlanmak üzere kabul edilmiş olan yazıların yayın hakları Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisine aittir. Düzeltilmiş yazılar 3 ay içerisinde editöre gönderilecektir.

Makalelerdeki tüm değişiklikler yazarları tarafından yapılır. Son şekli verilen ve yayına hazırlanan makaleler üzerinde yazarlarca bir değişiklik yapılamaz. Her ne nedenle olursa olsun makalesinin yayınlanmasından vazgeçen bir yazar, makalesini dergiye sunum tarihinden itibaren en fazla iki ay içerisinde çekebilir. Hayvan deneylerinde etik kurul izin belgesi gereklidir.

### MAKALE SUNUMU

Makaleler elektronik ortamda sunulacaktır.

### YAZIM KURALLARI

- Makale A4 boyutlu kağıda, tek yüze, tüm kenarlardan 2.5 cm boşluk bırakılarak, çift satır aralıklı yazılmalıdır.

- Yazım biçimi, Times New Roman yazı tipi ve 12 punto büyüklüğünde Microsoft Word Processor kullanılarak hazırlanmalıdır. Tamamı siyah-beyaz renkte olmalıdır (şekil ve çizelgeler dahil).
- Satır başları numaralandırılmalıdır. Sayfa numaraları, sayfaların alt orta bölümlerine konmalıdır.
- Makalenin ana bölümleri, Türkçe Öz, İngilizce Öz (Abstract), Giriş, Gereç ve Yöntem/Yöntemler (Saha tanımlamaları, çalışılan malzeme v.d. Yöntemler kısmının altında alt başlık olarak verilmelidir), Sonuçlar, Tartışma/Sonuçlar ve Öneriler, Teşekkür ve Kaynaklardan oluşur. Öz hariç bütün bölümler numaralandırılmalıdır.
- Latince isimler italik olarak yazılmalıdır.

**Kapak Sayfası:** Yazının ayrı word dosyası olarak bir başlık sayfası olmalıdır; başlık; tüm yazarın tam adı, kurumlar ve ORCID ID'leri; sorumlu yazarın iletişim adresi ve e-posta adresi.

### Kapak Yazısı Planı:

- Türkçe ve İngilizce başlık
- Yazar adları ve adresleri
- Sorumlu yazarın adı, adresi ve e-posta adresi
- Kısa başlık
- Tüm yazarların ODCID numaraları

**Başlık:** Metne uygun kısa ve anlaşılır olmalıdır. Ortalanmış olarak, sadece ilk harfi büyük sonrakiler küçük, 14 punto ve koyu olmalıdır.

**Yazar adları ve adresleri:** Başlığın altındaki yazar isimleri kısaltmasız, adı ve soyadı (varsa ikinci ismi veya soy ismi) küçük harf ile ortalanmış olarak 12 punto ve koyu yazı karakteri ile yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır (<sup>1 2 3</sup> gibi). Sorumlu yazar isminde yıldız sembolü olmalıdır (\*). Yazarların tam adresleri küçük harfle, ortalı ve 10 punto olarak yazılmalı, Üniversite, Fakülte, Bölüm ve Şehir belirtilmelidir. Sorumlu yazarın e-posta adresi, adresinin sonunda mutlaka verilmelidir.

**Öz ve Anahtar Kelimeler:** Özetler 10 punto ile yazılmalı ve 250 kelimeyi geçmemelidir.

Türkçe ve İngilizce özetin altında 2-6 kelimedenden oluşan Anahtar kelimeler yazılmalıdır.

### Özet Sayfasının Planı

- Türkçe makalelerde
  - Türkçe Başlık
  - İngilizceBaşlık
  - Yazar Adları
  - Orcid id
  - Adres(ler)
  - Öz
  - Anahtar Kelimeler
  - İngilizce Abstract
  - İngilizce Anahtar Kelimeler (Keywords)



## 2. İngilizce makalelerde

- |                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| a) İngilizce Başlık     | f) Abstract          |
| b) Türkçe Başlık        | g) Keywords          |
| c) Yazar Adları         | h) Öz                |
| d) Orcid id             | i) Anahtar Kelimeler |
| e) İngilizce Adres(ler) |                      |

**Tam Metin:** Makaledeki ana başlıklar ve varsa alt başlıklar anlaşılır olmalıdır. Ana metin başlıkları sola yanaşık, baş harfi büyük, 12 punto ve koyu renkli olmalıdır. Alt başlıklar 10 punto, küçük ve italik yazılmalıdır.

**Giriş:** Araştırmanın amacı, önemi ve konusunda yapılmış yayınlar arasındaki yeri belirtilmelidir.

**Gereç ve Yöntem/Yöntemler:** Uygulanan yöntemler ve teknikler anlaşılır bir şekilde verilmelidir.

**Sonuçlar:** Bu bölümde elde edilen bulgulara (sonuçlara) yer verilmeli, sonuçlar gerekirse şekil ve çizelgelerle desteklenmelidir.

**Tartışma:** Elde edilen bulgular ilgili literatürlerle karşılaştırılmalıdır. Sonuçların benzer ve farklılıkları yorumlanarak, çalışmadan elde edilen bulgular özetlenmelidir.

**Teşekkür:** Araştırmaya destek olan kişi ve kuruluşlara yapılan teşekkürleri içermelidir.

Her türlü çıkar çatışması, finansal destek, yazarların katkı beyanı, bağış ve diğer editöryal (istatistik analiz, İngilizce/Türkçe değerlendirme) ve/veya teknik yardım var ise metnin sonunda sunulmalıdır.

**Kaynaklar:** Yayınlanmamış bilgiler kaynak olarak verilmemelidir. Ancak, tamamlanmış ve jüriden geçmiş tezler kaynak olarak verilebilir. Kaynaklar, makale sonunda alfabetik sırada (yazar soyadlarına göre) verilmeli, yazar adı ve soyadları, makalenin basım tarihi koyu olarak yazılmalıdır.

Kaynakların metin içerisindeki kullanımı aşağıda verilmiştir:

### 1. Türkçe Makalelerde:

Tek yazarlı çalışma (Reşat 2001, Landen 2002).

İki yazarlı çalışma (Aydan ve Geniş 2008, Stanley ve Tunaz 1999, Büyükgüzel ve Yazgan 2002) şeklinde belirtilmelidir. Üç ve daha fazla yazar söz konusu ise, (Kuşçu vd. 2002, Yılmaz vd. 2007) şeklinde, aynı yazarın birden fazla makalesi kullanılacaksa (Simith vd. 1995a, b, 1997) şeklinde olmalıdır. Herhangi bir kaynaktan alıntı yapılmışsa: Aydan ve Geniş (2008)'e göre....şeklinde olmuştur; Yılmaz vd. (2007)'e göre; diye yazılmalıdır.

### 2. İngilizce Makalelerde:

Tek yazarlı çalışma (Landen 2002).

İki yazarlı çalışma (Anderson and Pratt 2002, Büyükgüzel and Yazgan 2002). Herhangi bir kaynaktan alıntı yapılmışsa Ünlü and Gerçek (2003)'e göre...şeklinde, diye belirtilmelidir.

Üç ve daha fazla yazardan oluşan çalışmalar (Evans et al. 2001, Landen et al. 2004) şeklinde olmalıdır. Alıntı yapılacaksa Landen et al. (2002)'ye göre; diye yazılmalıdır.

Kaynak gösterilecek yayında kaç isim varsa, kaynaklar bölümünde tümü belirtilmeli, kısaltma yapılmamalıdır.

Türkçe ve İngilizce makalelerde, yazılım programları metin içerisinde ismi ve yılı belirtilerek (PROC GLM, SAS Institute 1999) şeklinde verilmelidir.

Kaynakların metin sonunda verilmiş şekilleri aşağıdaki gibidir:

#### Makale:

**Büyükgüzel, K., Yazgan, Ş. 1996.** Bazı antibiyotiklerin endoparazitoid *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae)'nın yaşama ve gelişimine etkileri. *Turk. J. Zool.*, 20:1-7.

**Özer, M., Perc, M., Uzuntarla, M. 2009.** Stochastic resonance on Newman-Watts networks of Hodgkin-Huxley neurons with local periodic driving. *Phys. Let. A*, 373 : 964-968.

#### Kitap:

**Reşat, U. 2001.** Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. 4. Basım, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Nitelik Matbaacılık, Ankara, 385 s.

**Sanford, R.J. 2003.** Principles of fracture mechanics, Prentice Hall, Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, USA, 404 pp.

#### Kitapta Bölüm:

**Cheeseman, KH. 1993.** Lipid peroxidation in biological systems. In: B. Halliwell, O.I. Auroma [eds.], DNA and Free Radicals. Ellis Horwood, London, pp. 12-17.

#### Rapor:

**Makarewicz, J.C., Lewis, T., Bertram, P. 1995.** Epilimnetic phytoplankton and zooplankton biomass and species composition in Lake Michigan, 1983-1992. U.S. EPA Great Lakes National Program, Chicago, IL. EPA 905-R-95-009.

#### Kongre, Sempozyum:

**Kuşçu, Ş., Azar A., Kısa, A. 1997.** Arşiv bilgi ve belgelerinden yararlanılarak grafik kadastro nun sayılaşılması ve bir uygulamanın sonuçları. 6. *Harita Kurultayı*, s. 211-222, Ankara.

**Kaplan, A. 2000.** Ankara havasında bulunan biyolojik partiküller. XV. Ulusal Biyoloji Kongresi, s. 45-50, Ankara.

#### İnternet:

Eğer bir bilgi herhangi bir internet sayfasından alınmış ise (internette alın ve dergilerde yayınlanan makaleler hariç), kaynaklar bölümüne internet sitesinin ismi ve konu başlığı tam olarak yazılmalıdır.

#### Anonim web sayfası:

**Leafy seadragons and weedy seadragons. 2001.** <http://www.windspeed.net.au/jenny/seadragons/>

#### Yazarlı web sayfası:

**Dawson, J., Smith, L. Deubert, K. 31 Ekim 2002.** <http://studytrekk.lis.curtin.edu.au/> şeklinde belirtilmelidir.

#### Baskıda olan makale:

**Evans, MA. 2002.** Makale başlığı. *Dergi*. (baskıda).

**Tezler:**

**Özcan, A. 2006.** Endüstriyel atıklar ve polipropilen lif içeren saha betonlarının özelliklerinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 70 s.

**Yazılım:**

**SAS Institute. 2001.** PROC user's manual, version 6th ed. SAS Institute. Cary, NC.

**Çizelgeler ve Şekiller:** Tüm şekil ve çizelgeler makale içerisinde sırayla numaralandırılmalı (Çizelge 1., Şekil 1., Çizelge 2 ve 3, Şekil 2 ve 3; Şekil 4., Çizelge 2.), şekillerin sıra numaraları ve başlıkları altta, çizelgelerin ise üstlerine yazılmalıdır. Grafik ve şekiller sayfa boyutları dikkate alınarak çizilmelidir. Çizelge ve şekillerin başlık ve açıklamaları, Kaynaklardan sonra ayrı sayfalar halinde Çizelgeler dizini ve Şekiller dizini olarak hazırlanmalıdır. Açıklamalardan sonra ayrı sayfalar halinde çizelge ve şekiller verilmelidir. Grafikler, çizimler ve fotoğraflar JPEG ya da TIFF formatında (en az 600 dpi çözünürlükte) siyah-beyaz veya renkli olarak sunulmalıdır. Fotoğraflarda büyütme göstermek için mutlaka bar kullanılmalıdır.

Çizelgede verilecek olan verilerde standart sapma veya standart hatalar ( $1.42 \pm 1.36$ ) şeklinde, istatistiksel analiz yapılmışsa (731.2ab) şeklinde, bunların başlık olarak yazılış şekilleri de (ort  $\pm$  SE; ort  $\pm$  SD, vb.) gibi olmalıdır.

**Denklemler:** Matematiksel ifadeler "Equation Editör" (word ortamında) kullanılarak 9 punto ve alt ve üst indisler 8 punto yazılmalıdır. Metin içerisinde geçen eşitlikler normal parantez ( ) içerisinde numaralandırılmalıdır. Denklem sıra numarası ile birlikte (parantez içerisinde) yazılmalıdır.

**Matematiksel denklemlerdeki eşitlikler:**

$R = A_{\text{barrytype}} + B \log_{10}(f)$  (2) şeklinde olmalıdır.

**Ekler:** Tüm ekler ayrı sayfaya yazılmalı ve Romen rakamları ile numaralandırılmalıdır.

Matematik dalında yayın gönderecek yazarların konu sınıflandırma numarasını (AMS-Mathematical Subject Classification Number) belirtmeleri gerekir.

**Semboller ve Birimler:** Metrik sistem veya SI birimleri (kPa, kN/m<sup>3</sup>, g/cm<sup>3</sup>, m/sn, g/m<sup>3</sup>, v.b.) kullanılmalıdır. Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse şekillerde rakamların ondalık bölümlerinin belirtilmesi için nokta kullanılmalıdır (10.25 gibi). Yüzdeler (%50) şeklinde belirtilmelidir.

**Kısaltmalar:** Zamanla ilgili olan kısaltmalar: sa (saat), dk (dakika), sn (saniye), y (yıl), hf (hafta) olarak belirtilmelidir. Tarihler verilirken gün ay ve yıl kısaltma yapmadan tam olarak yazılmalıdır (23 Ocak 2007).

**Sayılar:** Sayılar cümle başlarında yazı ile verilmelidir. Birden dokuza kadar olan sayılar yazı ile, 10 ve daha büyük sayılar rakamla belirtilmelidir. Birden küçük olan sayılar (0.05, 0.56, 0.50, P < 0.05, v.b.) olarak belirtilmelidir. Binden büyük sayılarda yüzden sonra olan kısımlar virgüle ayrılmalıdır (100,000).

**Dipnotlar:** Çizelgede kullanılacak olan dipnotlar istatistiksel analiz yapıldığı durumlarda (\*P<0.05; \*\* P<0.01; \*\*\* P<0.001; NS, istatistiksel olarak önemsizdir, v.b.) şeklinde olmalıdır.

Derginin bir sayısında, ilk isim olarak bir yazarın üçten fazla eseri basılamaz. Dönemler içerisinde üçten fazla eser gönderilmişse, ilk üçü dışında kalanlar daha sonraki sayılara aktarılır.

Matematik ve ilgili konular için makalenin hazırlanması şu şekilde olmalıdır:

Makalenin ilk sayfasında, Matematik Reviews yıllık dizini itibaren en az bir 2010 MSC (Matematik Konu Sınıflandırması) numaralarını içermelidir. MSC Konu Sınıflandırması <http://www.ams.org/math-scinet/msc/msc2010.html> adresinden temin edilebilir.

Kaynaklar bölümünde, yazarların soy isimleri alfabetik sıraya göre dizilmeli ve numaralandırılmalıdır [1],[2],...gibi. Metin içerisinde kaynak numaraları köşeli parantez içerisinde alınmalıdır, [23] veya [12]-[15] gibi. Formül numaralarını ayırt etmek için, yuvarlak parantez içinde tırnak içerisine alınmalıdır. Yukarıdaki şartları sağlamayan yayınlar değerlendirmeye alınmaz.

**Makale Yazım Kontrol Listesi**

Makale dergiye sunulmadan önce makalenin yazım kurallarına uygun olup olmadığından emin olmak için aşağıda belirtilen kontrolleri yapınız.

- Başlık sayfası eklendi mi?
- İmla ve dilbilgisi kontrolü yapıldı mı?
- Tüm sayfa düzeni çift aralıklı yazıldı mı?
- Köşelerden 2.5 cm boşluk bırakıldı mı?
- Yazı tipi Times new roman ve büyüklüğü 12 punto mu?
- Metin içerisindeki başlıklar sola yanaşık, 12 punto ve koyu renkli yazıldı mı?
- Tüm yazarların adları ve soyadları kısaltma yapılmadan belirtildi mi?
- Adresler belirtildi mi?
- Başlık 14 punto koyu yazı karakteri ile ortalanarak yazıldı mı?
- Türkçe Öz ve Anahtar Kelimeler yazıldı mı?
- İngilizce Abstract ve Keywords verildi mi?
- Kaynaklar yazım kurallarına göre ve alfabetik sırayla yazıldı mı?
- Ondalık dilimler nokta ile belirtildi mi? (10.25 gibi)
- Yüzdeler gösterimler (%63, %10 gibi) şeklinde yapıldı mı?
- Çizelgelerin maksimum boyutu 16x20 cm; minimum 8 cm mi?
- Çizelgeler makale içerisinde sırayla verildi mi?
- Orijinal şekiller eklendi mi?
- Şekiller yazım kurallarına uygun olarak düzenlendi mi?
- Şekillerin maksimum boyutu 16x20 cm; minimum 8 cm mi?
- Şekiller makale içerisinde sırayla verildi mi?
- Çizelgeler ve Şekiller Dizini ayrı sayfalarda verildi mi?
- Tüm sayfa ve satırlara numara verildi mi?



## ETİK KURALLAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesinin yayın organı olan Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi ulusal ve uluslararası tüm kurum ve kişilere ücretsiz olarak ulaşmayı hedefleyen hakemli bir dergidir.

Dergimize gönderilen bilimsel yazılarda, ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors) tavsiyeleri ile COPE (Committee on Publication Ethics)'un Editör ve Yazarlar için Uluslararası Standartları dikkate alınmaktadır.

**Yazarlarımızın etik ihlalleri ile ilgili tüm iddia ve kesinleşmiş süreçler kendi sorumluluklarında olup, kesinleşen etik ihlalleri durumunda makale otomatik iptal edilir.**

### Hakemler İçin Etik Kurallar

Hakemler;

- Değerlendirdiği yazıların gizliliğine saygı gösterir ve makaleyi tartışmaz veya yazı hakkında başka herhangi bir kişiyle iletişim kurmaz.
- Olası bir çıkar çatışması olduğunda editörü konu hakkında bilgilendirir.
- Önerileri için nesnel ve yapıcı bir açıklama sağlar.
- Makaleye ilişkin kararlarının konudan veya yazarlık biçiminden etkilenmesine izin vermez.
- Güçlü bir bilimsel gerekçe olmadıkça yazarın kendi makalelerini belirtmesini istemez.
- Yazarlar tarafından yayınlanmadan önce kendi çalışmalarının hiçbirinde incelenen makalenin herhangi bir bölümünü veya bilgiyi çoğaltmaz.
- Hakem değerlendirmelerini sadece uzmanlıkları dahilinde ve makul bir süre içinde kabul etmeyi kabul eder.
- Yazının yayına çıkmasını geciktirecek ertelemeler yapmaz.
- Hakaret, düşmanca veya küçük düşürücü bir dil kullanmaz.
- Gönderilen makaleleri ve ilgili tüm materyalleri inceledikten sonra imha eder.

[https://publicationethics.org/files/Ethical\\_guidelines\\_for\\_peer\\_reviewers\\_0.pdf](https://publicationethics.org/files/Ethical_guidelines_for_peer_reviewers_0.pdf)

### Yazarlar için etik kurallar

Yazarlar ve yardımcı yazarlar;

- International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) tarafından belirtilen yazar kriterlerine uygunluk sağlanır;
  - a. Eserin tasarımına veya tasarımına önemli katkılar sağlayan verilerin elde edilmesi, analizi veya yorumlanması
  - b. Çalışmanın hazırlanması veya literatürün içerik için eleştirel olarak gözden geçirilmesi
  - c. Yayınlanacak versiyonun nihai onayı

d. Çalışmanın herhangi bir bölümünün doğruluğu veya bütünlüğü ile ilgili soruların uygun şekilde soruşturulup çözülmesini sağlamada, çalışmanın tüm yönlerinden sorumlu olacak anlaşma.

- Gönderilen makaleler yazar(lar)ın özgün çalışması olmalıdır ve eşzamanlı olarak farklı yayıncılara gönderilmemelidir
- Yazar(lar) araştırma önerisinde, icrasında ya da araştırma sonuçlarını raporlarken araştırma suiistimali olarak tanımlanan uydurma, tahrifat ya da intihalden sorumludur.
- Gönderilen makalelerde çıkar çatışması varsa editöre bilgi verilmelidir
- Gönderilen makalelerde ön kontrol, değerlendirme süreci ya da yayınlanmış olan sürümünde yazar veya yardımcı yazarlar tarafından hata fark edilirse bilgi vermek, düzeltmek ya da geri çekmek için editörü bilgilendirmelidir.
- Makale gönderildikten sonra yazar sıralamaları ve yazar eklemeli çıkartmaları önerilmemelidir
- Yazar(lar), etik kurul kararı gerektiren araştırmalar için etik kurul onayı aldığını; etik kurul adı, karar tarihi ve sayısı aday makalenin ilk-son sayfasında ve yöntem bölümünde belirtmeli, etik kurul kararını gösteren belgeyi makalenin başvurusuyla birlikte sisteme yüklemelidir.
- Yazarlar olgu sunumlarında olur/onam formunun alındığına ilişkin bilgiye makalede yer vermemelidir.
- Kullanılan fikir ve sanat eserleri için telif hakları düzenlemelerine riayet edilmesi gerekmektedir.
- Makale sonunda; Araştırmacıların Katkı Oranı beyanı, varsa Destek ve Teşekkür Beyanı, Çatışma Beyanı verilmelidir.

<http://www.icmje.org/icmje-recommendations.pdf>

<https://www.ease.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/doi.10.20316.ESE.2018.44.e1.tr.pdf>

### Editörler İçin Etik

Editörler:

- Okuyucular, araştırmayı veya diğer bilimsel çalışmalarını kimin finanse ettiği ve fon verenlerin araştırmada ve yayınlanmasında herhangi bir rolü olup olmadığı ve eğer öyleyse bunun ne olduğu konusunda bilgilendirilmelidir.
- Editörlerin yayın için bir makaleyi kabul etme veya reddetme kararları, makalenin önemi, özgünlüğü ve netliği ile çalışmanın geçerliliği ve derginin görev alanına uygunluğuna dayanmalıdır.
- Editörler, gönderimle ilgili ciddi sorunlar tespit edilmedikçe, gönderimleri kabul etme kararlarını tersine çevirmemelidir.
- Yeni editörler, bir önceki editör tarafından yapılan başvuruları yayınlama kararlarını bozmamalıdır ciddi sorunlar tespit edilmedikçe.





- Hakem değerlendirmesi süreçlerinin bir açıklaması yayınlanmalı ve editörler açıklanan süreçlerden önemli sapmaları ortaya çıkarır.
  - Yazarların editöryal kararlara itiraz edebilmeleri için beyan edilmiş bir mekanizmaya sahiptir.
  - Editörler, kendilerinden beklenen her şey hakkında yazarlara rehberlik etmelidir. Bu rehberlik düzenli olarak güncellenmeli ve bu koda atıfta bulunmalı veya bu koda bağlantı vermelidir.
  - Editörler International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) önerdiği yazarlık kriterlerini belirtmeli
  - Editörler, hakemlere, kendilerinden beklenen her şey hakkında rehberlik sağlamalıdır. gönderilen materyalin güvenle ele alınması ihtiyacı. Bu rehber düzenli olarak güncellenmelidir ve bu koda başvurmalı veya bu kodu bağlamalıdır
  - Editörler, kabul etmeden önce gözden geçirenlerin rekabet edebilecek potansiyel çıkarları ifşa etmelerini istemelidir bir sunumu gözden geçirin.
  - Editörler, hakemlerin kimliklerinin korunmasını sağlayacak sistemlere sahip olmalıdır yazarlara ve hakemlere bildirilen açık bir inceleme sistemi kullanır.
  - Editörler, yeni yayın kurulu üyelerine kendilerinden beklenen her şey hakkında kılavuzlar sunmalı ve mevcut üyeleri yeni politikalar ve gelişmeler hakkında güncel tutmalıdır.
  - Editörler, derginin kalitesine ve uygunluğuna göre ve dergi sahibinin / yayıncının müdahalesi olmadan hangi makalelerin yayınlanacağına karar vermelidir.
  - Editörlerin derginin sahibi ve / veya yayıncı ile ilişkilerini belirleyen yazılı bir sözleşmesi olmalıdır. Bu sözleşmenin şartları Dergi Editörleri için COPE Davranış Kuralları ile uyumlu olmalıdır.
  - Editörler dergilerindeki hakem değerlendirmelerinin adil, tarafsız ve zamanında yapılmasını sağlamak için çaba göstermelidir.
  - Editörler, dergilerine gönderilen materyallerin incelenirken gizli kalmasını sağlayacak sistemlere sahip olmalıdır.
  - Editörler, dergilerdeki bölümlerin farklı amaç ve standartlara sahip olacağını kabul ederek, yayınladıkları materyalin kalitesini sağlamak için tüm makul adımları atmalıdır.
- <https://publicationethics.org/files/Code%20of%20Conduct.pdf>  
endislik



## YAYIN ETİĞİ

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisinin yayın etiği beyanı, [www.publicationethics.org](http://www.publicationethics.org) adresinde bulunan Yayın Etiği Komitesi'nin (COPE) Davranış Kuralları kılavuzuna dayanmaktadır.

### Editörlerin Görevleri

#### Adil ve editöryal bağımsızlık

Editörler sunulan makaleleri, yazarların ırkı, cinsiyeti, cinsel tercihi, etnik kökeni, vatandaşlığı, dini inancı, siyasi felsefesi veya kurumsal eğilimleri ne olursa olsun, sadece akademik yararları (önemi, özgünlük, çalışmanın geçerliliği, netliği) ve derginin kapsamıyla olan ilgisine göre değerlendirirler. Düzenleme ve yayınlama kararları, hükümetlerin veya derginin dışındaki diğer kurumların politikaları tarafından belirlenmez. Genel Yayın Yönetmeni, derginin tüm editöryal içeriği ve bu içeriğin yayınlama zamanlaması üzerinde tam yetkiye sahiptir.

#### Gizlilik

Editörler ve editörler, gönderilen bir makaleyle ilgili hiçbir bilgiyi ilgili yazar, gözden geçirenler, potansiyel gözden geçirenler, diğer yayın danışmanları ve yayıncı dışında kimseye açıklamaz.

#### Açıklama ve çıkar çatışmaları

Editörler ve yayın kurulu üyeleri, gönderilen bir makalede açıklanan yayınlanmamış bilgileri, yazarların açık yazılı izni olmadan kendi araştırma amaçları doğrultusunda kullanmayacaktır. Yazının işlenmesi sonucunda editörler tarafından elde edilen ayrıcalıklı bilgi veya fikirler gizli tutulacak ve kişisel avantajları için kullanılmayacaktır. Editörler, makalelere bağlı herhangi bir yazar, şirket veya kurumla rekabet, işbirlikçi veya diğer ilişkilerden/bağlantılardan kaynaklanan çıkar çatışmaları olan el yazmalarını dikkate almaktan geri çekilecekler; bunun yerine, yazı işleri kurulunun başka bir üyesinden yazıyı işlemesini isteyecekler.

#### Yayın kararları

Editörler, yayınlamak üzere değerlendirilen tüm makalelerin, alanında uzman en az iki gözden geçiren tarafından hakem incelemesinden geçmesini sağlar. Yazı İşleri Müdürü, söz konusu çalışmanın doğrulanmasına, araştırmacılar ve okuyucular için önemine, eleştirmenlerin yorumlarına ve iftira, telif hakkı ihlali ve intihal ile ilgili şu anda yürürlükte olan yasal gerekliliklere dayanarak, dergiye gönderilen el yazmalarından hangisinin yayınlanacağına karar vermekten sorumludur. Genel Yayın Yönetmeni bu kararı verirken diğer editörler veya yorumcularla görüşebilir.

#### Soruşturmalara katılım ve işbirliği

Editörler (yayıncı ve/veya kurulla birlikte) gönderilen bir makale veya yayınlanmış makaleyle ilgili etik kaygılar ortaya çıktığında duyarlı önlemler alacaktır. Etik olmayan yayıncılık davranışlarının rapor edildiği her eylem, yayımlandıktan yıllar sonra keşfedilmiş olsa bile incelenecektir. Editörler, suistimal şüphesiyle uğraşırken COPE Akış Şemalarını takip eder. Eğer, soruşturma üzerine, etik kaygı iyi kurulmuşsa, bir düzeltme, geri çekme, endişenin ifade edilmesi veya ilgili olabilecek diğer notlar dergide yayınlanacaktır.

### Gözden Geçirenlerin Görevleri

#### Editöryal kararlara katkı

Akran incelemesi editörlerin editöryal kararlar almalarına yardımcı olur ve yazarlarla editöryal iletişim yoluyla yazarların makalelerini geliştirmelerine yardımcı olabilir. Akran incelemesi resmi bilimsel iletişimin önemli bir bileşenidir ve bilimsel çabanın kalbinde yer alır.

#### İstem

Bir makalede bildirilen araştırmayı gözden geçirmek için niteliksiz hisseden veya derhal gözden geçirilmesinin imkansız olacağını bilen davet edilen her hakem, editörleri derhal bilgilendirmeli ve alternatif hakemlerle iletişime geçilebilmesi için inceleme davetini reddetmelidir.

#### Gizlilik

İncelenmek için alınan tüm el yazmaları gizli belgelerdir ve bu şekilde ele alınmalıdır; Genel Yayın Yönetmeni tarafından izin verilmedikleri sürece (istisnai ve özel durumlarda bunu yapacak olanlar) başkalarıyla gösterilmemeli veya tartışılmamalıdır. Bu, inceleme davetini reddeden davet edilen gözden geçirenler için de geçerlidir.

#### Nesnellik standartları

İncelemeler objektif olarak yapılmalı ve gözlemler, yazarların makalenin iyileştirilmesi için kullanabilmeleri için destekleyici argümanlarla net bir şekilde formüle edilmelidir. Yazarların kişisel eleştirisi uygunsuzdur.

#### Kaynakların kabulü

Gözden geçirenler, yazarlar tarafından belirtilen olmayan ilgili yayınlanmış çalışmaları tanımlamalıdır. Önceki yayınlarda bildirilen bir gözlem, türetme veya argüman olan herhangi bir ifade ilgili alıntı eşlik etmelidir. Bir eleştirmen ayrıca, kişisel bilgileri olan makale ile kişisel bilgileri olan diğer el yazmaları (yayınlanmış veya yayınlanmamış) arasında önemli bir benzerlik veya örtüşme olduğunu editörlere bildirmelidir.

#### Açıklama ve çıkar çatışmaları

Makaleye bağlı yazarlar, şirketler veya kurumlarla rekabet, işbirlikçi veya diğer ilişkilerden kaynaklanan çıkar çatışmaları olan davet edilen hakemler, editörleri derhal çıkar çatışmalarını beyan etmeleri ve alternatif hakemlerle iletişime geçebilmeleri için inceleme davetini reddetmeleri konusunda bilgilendirmelidir.

Gönderilen bir el yazmasında açıklanan yayınlanmamış materyaller, yazarların açık yazılı izni olmadan bir eleştirmenin kendi araştırmasında kullanılmamalıdır. Akran incelemesi yoluyla elde edilen ayrıcalıklı bilgiler veya fikirler gizli tutulmalı ve gözden geçirenin kişisel avantajı için kullanılmamalıdır. Bu, inceleme davetini reddeden davet edilen gözden geçirenler için de geçerlidir.

#### Yazarların Görevleri

##### Raporlama standartları

Orijinal araştırmanın yazarları, yapılan eserin ve sonuçların doğru bir açıklamasını sunmalı ve ardından çalışmanın önemini objektif bir

tartışmasını sunmalıdır. El yazması, başkalarının eseri çoğaltmasına izin verecek yeterli ayrıntı ve referanslar içermelidir. İnceleme makaleleri doğru, objektif ve kapsamlı olmalı, editöryal 'görüş' veya perspektif parçaları açıkça bu şekilde tanımlanmalıdır. Hileli veya bilerek yanlış ifadeler etik olmayan davranışlar teşkil eder ve kabul edilemez.

#### Veri erişimi ve saklama

Yazarlardan, çalışmalarının ham verilerini editöryal inceleme için el yazması ile birlikte sağlamaları istenebilir ve uygulanabilirse verileri kamuya açık hale getirmeye hazır olmalıdır. Her halükarda, yazarlar, katılımcıların gizliliğinin korunması ve özel verilerle ilgili yasal hakların serbest bırakılmasını engellememesi koşuluyla, bu verilerin yayımlandıktan sonra en az 10 yıl süreyle (tercihen kurumsal veya konu tabanlı veri deposu veya diğer veri merkezi aracılığıyla) diğer yetkili profesyonellere erişilebilirliğini sağlamalıdır.

#### Özgünlük ve intihal

Yazarlar sadece tamamen orijinal eserler yazdıklarından ve sunduklarından ve başkalarının çalışmalarını ve/veya sözlerini kullanmışlarsa, bunun uygun şekilde atıfta bulunulduğunu sağlamalıdır. El yazmasında bildirilen eserin niteliğinin belirlenmesinde etkili olan yayınlar da belirtilmelidir. İntihal, başka bir makalenin "yazarın kendi makalesi" olarak "aktarılmasından", başka bir makalenin önemli bölümlerini kopyalamaya veya paraphrasinge (atıf yapmadan), başkaları tarafından yapılan araştırmadan elde edilen sonuçların iddiasına kadar pek çok biçim alır. Tüm biçimlerinde intihal etik olmayan yayıncılık davranışı teşkil eder ve kabul edilemez.

#### Çoklu, yinelenen, gereksiz veya eşzamanlı gönderim/yayın

Temelde aynı araştırmayı açıklayan bildiriler birden fazla dergide veya birincil yayında yayınlanmamalıdır. Bu nedenle, yazarlar zaten başka bir dergide yayınlanmış bir makale dikkate için göndermemelidir. Bir makalenin aynı anda birden fazla dergiye gönderilmesi etik olmayan bir yayın davranışıdır ve kabul edilemez.

Bazı makalelerin (klinik kılavuzlar, çeviriler gibi) birden fazla dergide yayınlanması, belirli koşulların karşılanması koşuluyla bazen haklı olabilir. İlgili dergilerin yazarları ve editörleri, birincil belgenin aynı verileri ve yorumlanmasını yansıtması gereken ikincil yayını kabul etmelidir. Birincil başvuru ikincil yayında belirtilmelidir.

#### Makalenin yazarlığı

Sadece bu yazarlık kriterlerini karşılayan kişiler, içeriğin kamuya açık sorumluluğunu üstlenebilmeleri için makalede yazar olarak listelenmelidir: (i) çalışmanın anlaşılmasına, tasarımına, yürütülmesine, veri edinilmesine veya analizine/yorumlanmasına önemli katkılarda bulunmuştur; ve (ii) el yazmasının hazırlanması veya önemli entelektüel içerik için eleştirel olarak revize edilmesi; ve (iii) gazetenin son halini görmüş ve onaylamış ve yayımlanmak üzere sunulmasını kabul etmiş ve kabul etmiş. Yazıda bildirilen eserin önemli katkıları olan (teknik yardım, yazma ve düzenleme yardımı, genel destek gibi) ancak yazarlık kriterlerini karşılamayan kişilerin yazar olarak listelenmemesi, yazılı izin alındıktan sonra "Bildirimler" bölümünde kabul edilmesi gerekmektedir. İlgili yazar, tüm uygun ortak yazarların (yukarıdaki tanıma göre) ve uygunsuz ortak yazarların yazar listesine dahil edilmesini sağlamalı ve tüm ortak yazarların makalenin son halini görüş onayladığını ve yayına sunulmasını kabul ettiğini doğrulamalıdır.

#### Açıklama ve çıkar çatışmaları

Yazarlar mümkün olan en erken aşamada (genellikle gönderim sırasında bir açıklama formu göndererek ve makaleye bir ifade de dahil olmak üzere)—, sonuçları veya makaledeki yorumlarını etkilemek için yorumlanabilecek çıkar çatışmalarını ifşa etmelidir. Açıklanması gereken potansiyel çıkar çatışmalarına örnek olarak, fahri, eğitim hibeleri veya diğer finansman, konuşmacı bürolarına katılım, üyelik, istihdam, danışmanlık, hisse senedi sahipliği veya diğer hisse senedi çıkarları ile ücretli uzman ifadeleri veya patent lisanslama düzenlemeleri ile kişisel veya mesleki ilişkiler, ilgili kişiler, bilgi veya inançlar gibi finansal olmayan konular veya makalede tartışılan materyaller verilebilir. Çalışma için tüm finansal destek kaynakları açıklanmalıdır (hibe numarası veya varsa diğer referans numarası da dahil olmak üzere).

#### Kaynakların kabulü

Yazarlar, başkalarının çalışmalarını doğru bir şekilde kabul ettiklerinden emin olmalı ve bildirilen eserin niteliğini belirlemede etkili olan yayınlara da atıfta bulunulmalıdır. Özel olarak elde edilen bilgiler (üçüncü şahıslarla konuşma, yazışma veya tartışma) kaynaktan açık, yazılı izin alınmadan kullanılmamalı veya rapor edilmemelidir. Yazarlar, bu hizmetlerde yer alan eserin yazarının açık yazılı iznini almamışsa, el yazmalarına hakemlik veya hibe başvurusu gibi gizli hizmetlerin sağlanması nda elde edilen bilgileri kullanmamalıdır.

#### Tehlikeler ve insan veya hayvan denekleri

Çalışma, kullanımlarında olağandışı tehlikeler etüt eden kimyasallar, prosedürler veya ekipmanlar içeriyorsa, yazarlar bunları el yazmasında açıkça tanımlamalıdır. Eğer çalışma hayvanların veya insan katılımcıların kullanımını içeriyorsa, yazarlar tüm prosedürlerin ilgili yasalara ve kurumsal yönergelere uygun olarak gerçekleştirildiğinden ve ilgili kurumsal komitenin bunları onayladığından emin olmalıdır; el yazması bu yönde bir ifade içermelidir. Yazarlar ayrıca, insan katılımcıların deneyler için bilgilendirilmiş onam alındığına dair bir ifadeyi de makaleye eklemelidir. İnsan katılımcıların gizlilik haklarına her zaman uyulmalıdır.

#### Akran incelemesi

Yazarlar, editörlerin ham veri, açıklama ve etik onayı, hasta onayları ve telif hakkı izinleri için isteklerine derhal yanıt vererek akran değerlendirme sürecine katılmak ve tam işbirliği yapmak zorundadırlar. "Gerekli revizyonlar" ilk kararı durumunda, yazarlar gözden geçirenlerin yorumlarına sistematik, nokta işaretli ve zamanında cevap vererek, makalelerini verilen son tarihe kadar gözden geçirip dergiye yeniden göndermelidirler.

#### Yayınlanan çalışmalardaki temel hatalar

Yazarlar kendi yayınlanmış çalışmalarında önemli hatalar veya yanlışlıklar bulduklarında, derginin editörlerini veya yayımcısını derhal bilgilendirmek ve çalışmayı bir hata biçiminde düzeltmek veya geri çekmek için onlarla işbirliği yapmak onların yükümlülüğüdür. Editörler veya yayıncı, yayınlanmış bir çalışmanın önemli bir hata veya yanlışlık içerdiğini üçüncü bir taraftan öğrenirse, makalenin doğruluğunu dergi editörlerine derhal düzeltmek veya geri çekmek veya dergi editörlerine kanıt sunmak yazarların yükümlülüğüdür.



## INSTRUCTIONS to AUTHORS

Karaelmas Science and Engineering Journal is the international scientific journal publishing original papers in English or Turkish, reviews, short communications, technical notes and scientific editorial letters of science in the following areas: basic sciences, basic medicine science and engineering fields. This journal publishes two times a year (June and December). Manuscripts should be submitted online by a website: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>

### Manuscript Categories:

**Research articles:** Manuscripts should report original information which have not been published or submitted previously. Articles should not exceed 20 printed papers including tables and figures.

**Review articles:** Reviews of recent developments in a research fields and ideas will be accepted. Manuscripts should not exceed 15 papers of printed text. The use of tables and figures to summarize critical points is encouraged.

**Short communications:** These include small-scale investigations, innovative methods, perspectives on existing laboratory techniques and new methodologies, clinical trials and epidemiological studies. It should no exceed 5 printed pages.

**Technical notes or Case Reports:** Scientific reports providing important contributions their area will be considered in this category. It should not be exceed 3 pages.

**Letters to editor:** These include opinions, news and suggestions. Letters should not exceed 2 pages.

**Book/Software Reviews:** Short but concise description of the book/software, not exceeding a page. These types are not peer reviewed.

### CONDITIONS FOR PUBLICATION

Journal articles are published in Turkish or English. Manuscript should be suitable to the formal criteria of Instructions to Authors, otherwise, the manuscript will be sent back to the authors. Manuscripts should not exceed 20 papers of printed text, including tables, figures and references. Manuscripts that are found suitable for peer review will be assigned to two expert reviewers. The final decision to accept or reject a manuscript will be made by the Editor-in-Chief. After review process, the Editor-in-Chief will inform the authors of acceptance, rejection or necessity of revision of the manuscript. The paper has not already been published elsewhere and it is not currently being considered for publication elsewhere. If accepted, Karaelmas Science and Engineering Journal have exclusive license to publish. Review process is three months.

### PRESENTATION

Papers should be submitted online.

### PREPARING MANUSCRIPTS

- Manuscripts should be written double space on A4 sized typing paper with 2.5 cm all margins.
- Text should be prepared using Microsoft Word Processor with Times New Roman font and 12 point size.

- All pages must be numbered. All lines must be numbered.
- The full paper should be divided in to following parts in order to Abstract, Introduction, Materials and Method/Methods (Area descriptions, Study materials, e.g. should be cited as subheadings), Results, Discussion/Conclusions or Recommendations, Acknowledgements and References. All sections must be numbered except for the Abstract.
- Latin expression should be typed in italics.

**Cover Letter:** Please indicate title of manuscript and authors. You may briefly explain your work.

**Title Page:** The article should have a title page as a separate word file; hood; full author's full name, institutions and ORCID IDs; contact address and e-mail address of the corresponding author.

**The Title:** The title should be as short as possible, but give adequate information regarding the contents. Title must be written on the center with bold 14 font size. The first letter must be capital and the others must be written as lower case.

**Author's Names and Addresses:** All Authors full names must be written as lower case with bold 12 font size in the middle. After authors name and surnames, authors addresses should be stated with superscript numbers (e.g. <sup>1 2 3</sup>). Corresponding author's full name should be marked with an asteriks (\*). All authors addresses must be typed with lower case 10 font in the center. The corresponding author's contact address and e-mail address should be given. Names of institutions and cities each authors also must be stated.

**Abstract and Keywords:** A brief, informative abstract, not exceeding 250 words, should be typed in 10 font size. Immediately following the Turkish and English abstract, authors should provide 4-6 keywords or phrases that reflect content of the article.

### The Abstract Paper:

1. Turkish Paper
 

a) Turkish Title	f) Abstract
b) English Title	g) Keywords in Turkish
c) Author's names in Turkish	h) English Abstract (suitable with Turkish Abstract)
d) Orcid id	i) English Keywords
e) Addresses in Turkish	
2. English Paper
 

a) English Title	f) Abstract in English
b) Turkish Title	g) Keywords
c) Author's names	h) Turkish Abstract (Öz)
d) Orcid id	i) Turkish Keywords (Anahtar Kelimeler)
e) Addresses in English	

**Main Text:** Main Headings and subheadings should be informative, must be typed in capital, bold 12 font size. Subheadings should be written in lower case, 10 font size. Main headings should not be numbered in the manuscript.



**Introduction:** This section should include the topic and importance of the article and prior works.

**Material and Methods:** Experimental methods and procedures should be described with clear and brief explanations.

**Results:** This section contain only findings, no writing comment. Results can be supports by tables, figures, graphics etc., if necessary.

**Discussion:** Results should be compare with other studies and discuss similarity and distinction.

**Acknowledgements:** It should be grants, funds, peoples reviewing the manuscript and must be placed before thr references.

Any conflict of interest, financial support, authors' contribution statement, donation and other editorial (statistical analysis, English / Turkish evaluation) and / or technical assistance should be submitted at the end of the text.

**Referencing:** Please do not use unpublishing data. But MSc and PhD thesis can be use as references. References in the text:

If they have one author (Reşat 2001, Landen 2002)

Two authors (e.g.: Büyükgüzel and Yazgan 2004, Ünlü and Gerçek 2003);

In the case of multiple authors they should be cited as (Landen et al. 2002, Yılmaz et al. 2007). Multiple citations (Smith 1996, Yılmaz et al. 2007, Jones 2008), multiple publications by same author(s) should be written as (Smith et al. 1996a, 1996b, 1997). Software should be cited as (PROC GLM, SAS Institute 1999).

References should be given at the end of the text according to alphabetical order of the first authors surname.

References should appeared at the end of the text as in the examples provided below:

Journal Articles:

**Büyükgüzel, K., Tunaz, H., Putnam, SM., Stanley, DW. 2002.** Prostaglandin biosynthesis by midgut tissue isolated from the Tobacco Hornworm, *Manduca sexta*. *Insec Biochem. Mol. Biol.*, 32: 435-443.

**Büyükgüzel, K., Yazgan, Ş. 1996.** Bazı antibiyotiklerin endoparazitoid *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae)'nın yaşama ve gelişimine etkileri. *Turk. J. Zool.*, 20: 1-7.

**Özer, M., Uzuntarla, M. 2008.** Effects of the network structure and coupling strength on the noise-induced response delay of a neuronal network. *Phys. Let. A*, 372: 4603-4609.

A Book:

**Reşat, U. 2001.** Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. 4. Basım, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Nitelik Matbaacılık, Ankara, 385 s.

**Sanford, RJ. 2003.** Principles of fracture mechanics, Prentice Hall, Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, USA, 404 pp.

A Chapter in a Book:

**Cheeseman, KH. 1993.** Lipid peroxidation in biological systems, In: Halliwell B., Auroma OI. [eds.], DNA and Free Radicals. Ellis Horwood, London, pp. 12-17.

A Report:

**Makarewicz, JC., Lewis, T., Bertram, P. 1995.** Epilimnetic phytoplankton and zooplankton biomass and species composition in Lake Michigan, 1983-1992. U.S. EPA Great Lakes National Program, Chicago, IL. EPA 905-R-95-009.

Conference Proceedings:

**Stock, A. 2004.** Signal transduction in bacteria. *In the Proceedings of the 2004 Markey Scholars Conference*, pp: 80-89.

**Kaplan, A. 2000.** Ankara havasında bulunan biyolojik partiküller. XV. Ulusal Biyoloji Kongresi, s. 45-50, Ankara.

A Thesis:

**Strunk, JL. 1991.** The extraction of mercury from sediment and the geochemical partitioning of mercury in sediments from Lake Superior, M. Sc. thesis, Michigan State Univ., East Lansing, MI, 119 pp.

**Özcan, A. 2006.** Endüstriyel atıklar ve polipropilen lif içeren saha betonlarının özelliklerinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 70 s.

In Press:

**Evans, MA. 2002.** Title. *Journal*. (in press).

Software:

**SAS Institute. 2001.** PROC user's manual, version 6th ed. SAS Institute. Cary, NC.

Internet and URL:

If author(s) obtained from some information from internet, should be write full web address in the reference section.

Web documents with no authors:

**Leafy seadragons and weedy seadragons 2001.** <http://www.windspeed.net.au/jenny/seadragons/>

Web document with author:

**Dawson, J., Smith, L., Deubert, K. 31 October 2002.** Referencing, not plagiarisim. <http://studytrekk.lis.curtin.edu.au/>

**Symbols and Units:** Metric systems or SI units should be used (kPa, kN/m<sup>3</sup>, g/cm<sup>2</sup>, m/sn, g/m<sup>3</sup>, e.g.). Current abbreviations can be used without explanation, others must be explained. Use “ % ” only with numerals and in tables and figures. Close up space to numerals (e.g. 60%). Use the dot for decimal units (e.g. 10.26).

**Abbreviations:** All acronyms/abbreviations must be explained in parenthesis after their first occurrence. If many unfamiliar acronyms/ abbreviations are used, please compile them in an “Abbreviations” section at the end of the paper.

Use the following abbreviations for time: h (hour), min (minute), s (second), yr (year), mo (month), wk (week), add “s” to create plurals (e.g. wks). Do not abbreviate “liter” by itself or when accompanied by a numeral.

**Dates:** Present dates in this format: day month year (e.g. 13 February 1998).



**Gene Sequencing:** Genbank may be conducted at their website at <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank/submit.html>.

**Tables and Figures:**

- Tables and figures captions must be written in separate pages in Table Legends and Figure Legends sections after the reference section.
- Tables and figures should be embedded in separate papers and must be numbered consecutively throughout the paper (Table 1, Fig. 1, Figs. 2-3, Fig. 4).
- Use a semicolon to separate different types of citations (Fig. 3; Table 3)
- Electronically submitted figures and graphs are preferred \*.jpg or \*.tiff (min. 600 dpi) formats. Do not give magnification on scales in the figure titles; instead draw bar scales directly on the figures.
- All the tables and figures must be referred in the text.
- The numbers and headings of figures must be written below the figure.
- The numbers and headings of tables should be written the top of the table.
- Standart errors or deviations should be cited as (e.g.,  $1.45 \pm 1.06$ ), statistically data should data must be given as (e.g., 734.3ab) in the table.
- Figures must be uploaded as tiff or jpeg files on our web sites on supplementary files.
- The column title of standart errors or deviations must be cited as (means  $\pm$  SD, or means  $\pm$  SE).
- Use the following abbreviations for months: Jan., Feb., Mar., April, May, Jun., July, Aug., Sep., Oct., Nov., and Dec.

**Appendices:** All appendices must be typed on separate sheet and should be numbered consecutively with capital Roman numerals.

**Equations:** Mathematical expressions should be written by an equation editor (Word format) in 9 point size. Indices font should be 8 point size. Each equation in text should be numbered in parenthesis.

Mathematical equations should be cited as below:

$$R = A_{\text{barrtype}} + B \log_{10}(f) \quad (2)$$

When authors send mathematical papers, they should state AMS-Mathematical Subject Classification Number.

**Numbers:** Spell out numbers at the beginning of sentence. Spell out the numbers one through nine. 10 and up are always cited as arabic numerals. All numbers <1 must be preceded by a zero (e.g. P<0.05). When a number is >1000, use a comma to separate hundreds from thousands.

**Footnotes to Tables:** In case of statistical data in tables, use footnotes to define or clarify column headings or specific datum with in data field (\*P<0.05; \*\* P<0.01; \*\*\* P<0.001; NS, not significant).

For submitting first namely author's manuscripts should not exceed three folds in the same issue. Authors when submit the four folds manuscripts, they will be publish in another issues.

The preparation of the manuscript should be as follows for Mathematics and related subject:

The first page of the manuscript must include at least one 2010 MSC (Mathematics Subject Classification) numbers following the annual index of the Mathematical Reviews. MSC Subject Classification can be obtained from "http://www.ams.org/mathscinet/msc/msc2010.html".

The items in the reference section should be ordered according to the alphabetical order of the surnames of the authors and numbered numerically such as [1], [2],....

In the text, reference numbers should be enclosed in square brackets, such as [23] or [12]-[15], to distinguish them from formula numbers which should be quoted in round brackets.

**Final Checklist of the Manuscript**

Before submitting of your paper (and other writings as applicable), please make sure that the following requirements have all been made:

- Cover letter is enclosed
- Spell check and grammar check have been performed
- Entire paper is double-spaced including abstract, tables, captions, references
- Margins are 2.5 cm each margin
- Font size is 12 punto
- Font type is Times new roman
- Decimals are shown by a full stop (e.g., 10.25)
- Percent signs appear without a space after the number (e.g., 63%)
- Names of authors are written in full (not abbreviated)
- Address is given
- English title is given
- Title is in title case
- English abstract is given
- English keywords are given
- Turkish abstract (Öz) is given
- Turkish keywords (Anahtar Kelimeler) are given
- Original figures are enclosed
- Figures are prepared according to the instructions
- Figures are maximum 16x20 cm; minimum 8 cm wide
- Figures are refered to the consecutively in the paper
- Tables are maximum 16x20 cm; minimum 8 cm wide
- Tables are refered to the consecutively in the paper
- Captions are written in left case
- Figure legends are given
- Table legends are given
- References are typed according to the instructions
- References are listed alphabetically
- All pages and all lines are numbered



## ETHICAL PRINCIPLES

Official journal of Zonguldak Bülent Ecevit University, Karaelmas Science and Engineering Journal is a peer-reviewed journal which aims to reach all national and international institutions and individuals free of charge.

In the scientific articles sent to our journal, the recommendations of ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors) and the International Standards of COPE (Committee on Publication Ethics) for Editors and Authors are taken into consideration.

**All claims and finalized processes regarding ethical violations of our authors are under their own responsibility, and in case of ethical violations, the article is automatically canceled.**

### Ethical Guidelines for Peer Reviewers

Peer Reviewers,

- respect the confidentiality of the manuscript, do not discuss it and do not reveal any details of it.
- inform the editor about any conflict of interest.
- provide objective and constructive explanations for their suggestions.
- do not allow the decisions related to the article to be influenced by the subject of the manuscript or the way of writing.
- do not contact the authors directly and request their previous articles unless there is a strong scientific reason.
- do not duplicate any part of the article or information reviewed in any of their own work before it is published by the authors.
- agree to accept the reviews only within their expertise and finish the review process within a reasonable time.
- do not intentionally prolong the review process which leads to a delay for the publication of the article.
- use a language refrained from being hostile and avoids making derogatory personal comments.
- destroy the manuscript and associated material after reviewing.

[https://publicationethics.org/files/Ethical\\_guidelines\\_for\\_peer\\_reviewers\\_0.pdf](https://publicationethics.org/files/Ethical_guidelines_for_peer_reviewers_0.pdf)

### Ethical Guidelines for Authors

Authors and co-authors,

- meet the following criteria for authorship defined by International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE);
  - a. Substantial contributions to the conception or design of the work; or the acquisition, analysis, or interpretation of data for the work;
  - b. Drafting the work or revising it critically for important intellectual content;

- c. Final approval of the version to be published;
  - d. Agreement to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.
- ensure that submitted articles are original and are not sent to different publishers.
  - are responsible for any falsification, alteration or plagiarism which are defined as abusing research before or during the research or while reporting the findings of it.
  - inform the editor if there is any conflict of interest in the submitted articles.
  - inform the editor for correction or withdrawal if any mistake is noticed after publication or during the process of pre-control or evaluation.
  - do not suggest reordering, adding or dropping author names after article submission.
  - state, if the research requires the decision of the ethics committee, that they have the ethics committee approval with the name of the ethics committee and the date and number of the decision in the first and last page of the article and the methods section, also upload the ethics committee approval document to the system along with the application of the article.
  - state in the article that they have the consent form for the case reports.
  - comply with the copyright regulations for the ideas and works of art used in the article.
  - provide statements for Author Contribution, Conflict of Interest, Disclosure and if necessary, Acknowledgements.

<http://www.icmje.org/icmje-recommendations.pdf>

[https://www.ease.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/doi.10.20316.ESE\\_.2018.44.e1.tr\\_.pdf](https://www.ease.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/doi.10.20316.ESE_.2018.44.e1.tr_.pdf)

### Ethical Guidelines for Editors

Editors:

- The readers should be informed about who provides financial support to the study or other scientific studies and whether there is any role of sponsors in the study or publication, and if there is any, what the contribution is.
- Editors should base their decisions of acceptance or rejection on the importance, originality and clarity of the article, validity of study and its relevance to the remit of the journal.
- Editors should not reverse decisions to accept submissions unless serious problems are identified with the submission.



- New editors should not overturn decisions to publish submissions made by the previous editor unless serious problems are identified.
- A description of peer review processes should be published, and editors should be ready to justify any important deviation from the described processes.
- Journals should have a declared mechanism for authors to appeal against editorial decisions.
- Editors should publish guidance to authors on everything that is expected of them. This guidance should be regularly updated and should refer or link to this code.
- Editors should state the authorship criteria suggested by International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE).
- Editors should provide guidance to reviewers on everything that is expected of them including the need to handle submitted material in confidence. This guidance should be regularly updated and should refer or link to this code
- Editors should require reviewers to disclose any potential competing interests before agreeing to review a submission.
- Editors should have systems to ensure that peer reviewers' identities are protected unless they use an open review system that is declared to authors and reviewers.
- Editors should provide new editorial board members with guidelines on everything that is expected of them and should keep existing members updated on new policies and developments.
- Editors should make decisions on which articles to publish based on quality and suitability for the journal and without interference from the journal owner/publisher.
- Editors should have a written contract(s) setting out their relationship with the journal's owner and/or publisher. The terms of this contract should be in line with the COPE Code of Conduct for Journal Editors.
- Editors should strive to ensure that peer review at their journal is fair, unbiased and timely.
- Editors should have systems to ensure that material submitted to their journal remains confidential while under review.
- Editors should take all reasonable steps to ensure the quality of the material they publish, recognizing that journals and sections within journals will have different aims and standards.

<https://publicationethics.org/files/Code%20of%20Conduct.pdf>





## PUBLICATION ETHICS

The ethics statement of the Karaelmas Science and Engineering Journal is based on the Code of Conduct guidelines of the Committee on Publication Ethics (COPE), available at [www.publicationethics.org](http://www.publicationethics.org).

This journal follows the COPE Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors and the Code of Conduct for Journal Publishers.

### Duties of Editors

#### Fair play and editorial independence

Editors evaluate submitted manuscripts exclusively on the basis of their academic merit (importance, originality, study's validity, clarity) and its relevance to the journal's scope, without regard to the authors' race, gender, sexual orientation, ethnic origin, citizenship, religious belief, political philosophy or institutional affiliation. Decisions to edit and publish are not determined by the policies of governments or any other agencies outside of the journal itself. The Editor-in-Chief has full authority over the entire editorial content of the journal and the timing of publication of that content.

#### Confidentiality

Editors and editorial staff will not disclose any information about a submitted manuscript to anyone other than the corresponding author, reviewers, potential reviewers, other editorial advisers, and the publisher, as appropriate.

#### Disclosure and conflicts of interest

Editors and editorial board members will not use unpublished information disclosed in a submitted manuscript for their own research purposes without the authors' explicit written consent. Privileged information or ideas obtained by editors as a result of handling the manuscript will be kept confidential and not used for their personal advantage. Editors will recuse themselves from considering manuscripts in which they have conflicts of interest resulting from competitive, collaborative, or other relationships/connections with any of the authors, companies or institutions connected to the papers; instead, they will ask another member of the editorial board to handle the manuscript.

#### Publication decisions

The editors ensure that all submitted manuscripts being considered for publication undergo peer-review by at least two reviewers who are expert in the field. The Editor-in-Chief is responsible for deciding which of the manuscripts submitted to the journal will be published, based on the validation of the work in question, its importance to researchers and readers, the reviewers' comments, and such legal requirements as are currently in force regarding libel, copyright infringement and plagiarism. The Editor-in-Chief may confer with other editors or reviewers in making this decision.

### Involvement and cooperation in investigations

Editors (in conjunction with the publisher and/or society) will take responsive measures when ethical concerns are raised with regard to a submitted manuscript or published paper. Every reported act of unethical publishing behaviour will be looked into, even if it is discovered years after publication. Editors follow the COPE Flowcharts when dealing with cases of suspected misconduct. If, on investigation, the ethical concern is well-founded, a correction, retraction, expression of concern or other note as may be relevant, will be published in the journal.

### Duties of Reviewers

#### Contribution to editorial decisions

Peer review assists editors in making editorial decisions and, through editorial communications with authors, may assist authors in improving their manuscripts. Peer review is an essential component of formal scholarly communication and lies at the heart of scientific endeavour.

#### Promptness

Any invited referee who feels unqualified to review the research reported in a manuscript or knows that its prompt review will be impossible should immediately notify the editors and decline the invitation to review so that alternative reviewers can be contacted.

#### Confidentiality

Any manuscripts received for review are confidential documents and must be treated as such; they must not be shown to or discussed with others except if authorized by the Editor-in-Chief (who would only do so under exceptional and specific circumstances). This applies also to invited reviewers who decline the review invitation.

#### Standards of objectivity

Reviews should be conducted objectively and observations formulated clearly with supporting arguments so that authors can use them for improving the manuscript. Personal criticism of the authors is inappropriate.

#### Acknowledgement of sources

Reviewers should identify relevant published work that has not been cited by the authors. Any statement that is an observation, derivation or argument that has been reported in previous publications should be accompanied by the relevant citation. A reviewer should also notify the editors of any substantial similarity or overlap between the manuscript under consideration and any other manuscript (published or unpublished) of which they have personal knowledge.

#### Disclosure and conflicts of interest

Any invited referee who has conflicts of interest resulting from competitive, collaborative, or other relationships or connections with any of the authors, companies or institutions connected to the



manuscript and the work described therein should immediately notify the editors to declare their conflicts of interest and decline the invitation to review so that alternative reviewers can be contacted.

Unpublished material disclosed in a submitted manuscript must not be used in a reviewer's own research without the express written consent of the authors. Privileged information or ideas obtained through peer review must be kept confidential and not used for the reviewer's personal advantage. This applies also to invited reviewers who decline the review invitation.

### Duties of Authors

#### Reporting standards

Authors of original research should present an accurate account of the work performed and the results, followed by an objective discussion of the significance of the work. The manuscript should contain sufficient detail and references to permit others to replicate the work. Review articles should be accurate, objective and comprehensive, while editorial 'opinion' or perspective pieces should be clearly identified as such. Fraudulent or knowingly inaccurate statements constitute unethical behaviour and are unacceptable.

#### Data access and retention

Authors may be asked to provide the raw data of their study together with the manuscript for editorial review and should be prepared to make the data publicly available if practicable. In any event, authors should ensure accessibility of such data to other competent professionals for at least 10 years after publication (preferably via an institutional or subject-based data repository or other data centre), provided that the confidentiality of the participants can be protected and legal rights concerning proprietary data do not preclude their release.

#### Originality and plagiarism

Authors should ensure that they have written and submit only entirely original works, and if they have used the work and/or words of others, that this has been appropriately cited. Publications that have been influential in determining the nature of the work reported in the manuscript should also be cited. Plagiarism takes many forms, from "passing off" another's paper as the author's own, to copying or paraphrasing substantial parts of another's paper (without attribution), to claiming results from research conducted by others. Plagiarism in all its forms constitutes unethical publishing behaviour and is unacceptable.

#### Multiple, duplicate, redundant or concurrent submission/publication

Papers describing essentially the same research should not be published in more than one journal or primary publication. Hence, authors should not submit for consideration a manuscript that has already been published in another journal. Submission of a manuscript concurrently to more than one journal is unethical publishing behaviour and unacceptable.

The publication of some kinds of articles (such as clinical guidelines, translations) in more than one journal is sometimes justifiable,

provided that certain conditions are met. The authors and editors of the journals concerned must agree to the secondary publication, which must reflect the same data and interpretation of the primary document. The primary reference must be cited in the secondary publication.

#### Authorship of the manuscript

Only persons who meet these authorship criteria should be listed as authors in the manuscript as they must be able to take public responsibility for the content: (i) made significant contributions to the conception, design, execution, data acquisition, or analysis/interpretation of the study; and (ii) drafted the manuscript or revised it critically for important intellectual content; and (iii) have seen and approved the final version of the paper and agreed to its submission for publication. All persons who made substantial contributions to the work reported in the manuscript (such as technical help, writing and editing assistance, general support) but who do not meet the criteria for authorship must not be listed as an author, but should be acknowledged in the "Acknowledgements" section after their written permission to be named as been obtained. The corresponding author should ensure that all appropriate coauthors (according to the above definition) and no inappropriate coauthors are included in the author list and verify that all coauthors have seen and approved the final version of the manuscript and agreed to its submission for publication.

#### Disclosure and conflicts of interest

Authors should—at the earliest stage possible (generally by submitting a disclosure form at the time of submission and including a statement in the manuscript)—disclose any conflicts of interest that might be construed to influence the results or their interpretation in the manuscript. Examples of potential conflicts of interest that should be disclosed include financial ones such as honoraria, educational grants or other funding, participation in speakers' bureaus, membership, employment, consultancies, stock ownership, or other equity interest, and paid expert testimony or patent-licensing arrangements, as well as non-financial ones such as personal or professional relationships, affiliations, knowledge or beliefs in the subject matter or materials discussed in the manuscript. All sources of financial support for the work should be disclosed (including the grant number or other reference number if any).

#### Acknowledgement of sources

Authors should ensure that they have properly acknowledged the work of others, and should also cite publications that have been influential in determining the nature of the reported work. Information obtained privately (from conversation, correspondence or discussion with third parties) must not be used or reported without explicit, written permission from the source. Authors should not use information obtained in the course of providing confidential services, such as refereeing manuscripts or grant applications, unless they have obtained the explicit written permission of the author(s) of the work involved in these services.

#### Hazards and human or animal subjects

If the work involves chemicals, procedures or equipment that have any unusual hazards inherent in their use, the authors must clearly identify



these in the manuscript. If the work involves the use of animals or human participants, the authors should ensure that all procedures were performed in compliance with relevant laws and institutional guidelines and that the appropriate institutional committee(s) has approved them; the manuscript should contain a statement to this effect. Authors should also include a statement in the manuscript that informed consent was obtained for experimentation with human participants. The privacy rights of human participants must always be observed.

#### **Peer review**

Authors are obliged to participate in the peer review process and cooperate fully by responding promptly to editors' requests for raw data, clarifications, and proof of ethics approval, patient consents

and copyright permissions. In the case of a first decision of "revisions necessary", authors should respond to the reviewers' comments systematically, point by point, and in a timely manner, revising and re-submitting their manuscript to the journal by the deadline given.

#### **Fundamental errors in published works**

When authors discover significant errors or inaccuracies in their own published work, it is their obligation to promptly notify the journal's editors or publisher and cooperate with them to either correct the paper in the form of an erratum or to retract the paper. If the editors or publisher learns from a third party that a published work contains a significant error or inaccuracy, then it is the authors' obligation to promptly correct or retract the paper or provide evidence to the journal editors of the correctness of the paper.



## İÇİNDEKİLER

### Araştırma Makaleleri

- Beauveria bassiana*'nın *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) ve Parasitoiti *Trichogramma cacoeciae*.....131**  
**Üzerine Etkileri**  
Benay Sezer Tuncsoy, Francisco Bueno-Pallero, Lidia Dionisio, Luis Neto, Pinar Ozalp
- Flaş Elektoretinogram (fERG) Testi İçin Normal Değerlerin Belirlenmesi..... 137**  
Rukiye Uzun Arslan, Okan Erkaymaz, İrem Şenyer Yapıcı
- Farklı Kadmiyum ve Kurşun Oranlarının Ergin *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae)'nin..... 142**  
**Yumurta Üretimi ve Açılımı Üzerine Etkileri**  
Bilge Nur Kaydan, Mehmet Sulanç
- Durağan Durum Görsel Uyaran Potansiyellerinden Bakış Bilgilerini Çıkarma..... 151**  
Ebru Sayılğan, Yılmaz Kemal Yuce, Yalcın Isler
- Mikroemülsiyon Tekniği ile Üretilmiş Hidroksiapatit Nanoparçacıkların Ti6Al4V Altlıklar Üzerine Elektroforetik ..... 158**  
**Biriktirme Yöntemi ile Kaplanması ve Vakum Ortamında Sinterlenmeleri**  
Mustafa Burak Telli, Arzu Altınpınar
- Rüzgar Enerjisi Santral (RES) Yapım Yerlerinin CBS Dayalı Çok Kriterli Karar Analizi ile Belirlenmesi:..... 168**  
**Yenice İlçesi (KARABÜK) Örneği**  
Deniz Arca, Hülya Keskin Çıtıröğlü
- Alkali İçeriği ve Aktivatör Modülünün Alkali Aktive Edilmiş Harçların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi ..... 177**  
Ahmet Onur Pehlivan
- Meme Kanserinin Evrimsel Sinir Ağı Modelleriyle Tespitinde Farklı Görüntü Büyütme Oranlarının Etkisi ..... 186**  
Ali Narin, Safa Kaan Kefeli
- Eksenel Yüklü Bir Öngerilmeli Demetin Sonlu Elemanlar Modellenmesi ve Analizi ..... 195**  
Abdullah Tombak, Yusuf Aytaç Onur
- Ferromanyetik Gümüş-Tabanlı Tellürün Elektronik Davranışı ve Mekaniksel Özellikleri Üzerine Teorik Araştırma: .... 202**  
**Ag<sub>3</sub>FeTe<sub>4</sub>**  
Aytac Erkisi, Bugra Yıldız



## CONTENTS

### Research Articles

- Effect of *Beauveria bassiana* on *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) and Its Parasitoid *Trichogramma cacoeciae* ..... 131**  
Benay Sezer Tuncsoy, Francisco Bueno-Pallero, Lidia Dionisio, Luis Neto, Pinar Ozalp
- Determination of Normal Values for Flash Electroretinogram (FERG) Test ..... 137**  
Rukiye Uzun Arslan, Okan Erkaymaz, İrem Şenyer Yapıcı
- Effects of Different Cadmium and Lead Rates on the Egg Production and Hatchability of Adult *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae) ..... 142**  
Bilge Nur Kaydan, Mehmet Sulanç
- Determining Gaze Information from Steady-State Visually-Evoked Potentials ..... 151**  
Ebru Sayılğan, Yılmaz Kemal Yuce, Yalcın İsler
- Electrophoretic Deposition of Hydroxyapatite Nanoparticles Synthesized by Microemulsion Technique on Ti6Al4V Substrates and their Sintering in Vacuum Ambient ..... 158**  
Mustafa Burak Telli, Arzu Altınpınar
- GIS-Based Analysis of Sites Determination for Wind Power Plant (WPP) by Multi-Criteria Decision Analysis: A Case Study in Yenice District (KARABUK) ..... 168**  
Deniz Arca, Hülya Keskin Çıtroğlu
- Effect of Alkali Content and Activator Modulus on Mechanical Properties of Alkali Activated Mortars ..... 177**  
Ahmet Onur Pehlivan
- The Effect of Different Image Magnification Rates in the Detection of Breast Cancer with Convolutional Neural Network Models ..... 186**  
Ali Narin, Safa Kaan Kefeli
- Finite Elements Modeling and Analysis of an Axially Loaded Prestressing Strand ..... 195**  
Abdullah Tombak, Yusuf Aytac Onur
- The Theoretical Investigation on Electronic Behavior and Mechanical Properties of Ferromagnet Silver-Based Telluride:  $Ag_3FeTe_4$  ..... 202**  
Aytac Erkisi, Bugra Yıldız



## Effect of *Beauveria bassiana* on *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) and Its Parasitoid *Trichogramma cacoeciae*

*Beauveria bassiana*'nın *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) ve Parasitoiti *Trichogramma cacoeciae* Üzerine Etkileri

Benay Sezer Tuncsoy<sup>1\*</sup> , Francisco Bueno-Pallero<sup>2</sup> , Lidia Dionisio<sup>2</sup> , Luis Neto<sup>2</sup> , Pinar Ozalp<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>University of Adana Alparslan Turkes Science and Technology, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Adana, Turkey

<sup>2</sup>University of Algarve, Faculty of Science and Technology, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal

<sup>3</sup>University of Cukurova, Faculty of Science and Letter, Department of Biology, Adana, Turkey

### Abstract

*Beauveria bassiana*, which is used for this experiment in order to determine the effects on *Galleria mellonella* and its parasitoid *Trichogramma cacoeciae*, is a naturally occurring pathogens and have been used to control insect pest. The conidia of the fungi germinate on the surface of the insect host, penetrate through the cuticle, spread in the hemolymph, and then resulting in the death of the host.  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$  and  $10^8$  conidia/mL were applied to the last instar of *G. mellonella* by injecting the suspensions. Mortality of *G. mellonella* larvae, effects of *B. bassiana* on emergency of *G. mellonella* eggs and parasitization were investigated. To determine the effect of *B. bassiana* on *T. cacoeciae*,  $10^8$  conidia/mL were applied to the *G. mellonella* eggs. No mortality was observed in  $10^5$  and  $10^6$  conidia/mL of *B. bassiana* injected group, whereas death larvae was determined in  $10^7$  and  $10^8$  conidia/mL injected groups. Prevalence of black spots within the integument increased day by day. Hatchability of *G. mellonella* eggs were significantly decreased when *B. bassiana* applied to the *G. mellonella* eggs. No statistical difference was observed in the parasitizing and hatching rates of *Galleria mellonella* eggs by *Trichogramma cacoeciae* adult females.

The biosafety of *B. bassiana* against *T. cacoeciae* was determined by monitoring the parasitization and emergence ratio. It was detected *B. bassiana* was safe to this egg parasitoid. However, there is a significant effect on mortality of *G. mellonella* larvae and hatchability of *G. mellonella* eggs.

**Keywords:** *Beauveria bassiana*, Emergence ratio, *Galleria mellonella*, Survival, *Trichogramma cacoeciae*

### Öz


Çalışmada *Galleria mellonella* ve parasitod *Trichogramma cacoeciae* üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla kullanılan *Beauveria bassiana*, doğal olarak oluşan ve zararlı böceklerin kontrolünde kullanılan bir patojendir. Mantarın konidiyumları konak böceğin yüzeyinde gelişmeye başlar, kütikülden geçer, hemolenf içine yayılır ve ardından konağın ölümüyle sonuçlanır. *Galleria mellonella* ve parazitoid *Trichogramma cacoeciae* üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır.  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$  ve  $10^8$  spor/mL *B. bassiana*, *G. mellonella* larvalarına enjekte edilerek uygulanmıştır. *B. bassiana*'nın *G. mellonella* larvalarında mortalite, yumurtalarının açılması ve parazitlenme üzerine olan etkileri araştırılmıştır. *B. bassiana*'nın *T. cacoeciae* üzerindeki etkisini belirlemek için *G. mellonella* yumurtalarına  $10^8$  spor/mL *B. bassiana* uygulanmıştır.  $10^5$  ve  $10^6$  spor/mL *B. bassiana* enjekte edilen grupta mortalite gözlenmezken,  $10^7$  ve  $10^8$  spor/mL *B. bassiana* uygulanan gruplarda mortalite meydana geldiği tespit edilmiştir. Integumentteki siyah noktalarda deney süresi boyunca artış meydana geldiği gözlenmiştir. *G. mellonella* yumurtalarının açılma oranı *B. bassiana* uygulaması yapılan gruplarda önemli ölçüde azalmıştır. *T. cacoeciae* ergin dişilerin *G. mellonella* yumurtalarını parazitleme ve yumurtaların açılma oranlarında istatistiki fark gözlenmemiştir.

Sonuç olarak, *B. bassiana*'nın yumurta parazitoidine karşı güvenli olduğu, buna karşın *G. mellonella* larvalarının mortalitesi ve yumurtaların açılma oranı üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir.


**Anahtar Kelimeler:** *Beauveria bassiana*, Yumurtadan çıkma oranı, *Galleria mellonella*, Sağkalım, *Trichogramma cacoeciae*


\*Corresponding author: [btuncsoy@atu.edu.tr](mailto:btuncsoy@atu.edu.tr)

Benay Sezer Tuncsoy  [orcid.org/0000-0003-4361-3475](https://orcid.org/0000-0003-4361-3475)

Francisco Bueno-Pallero  [orcid.org/0000-0001-5755-1178](https://orcid.org/0000-0001-5755-1178)

Lidia Dionisio  [orcid.org/0000-0002-0530-9395](https://orcid.org/0000-0002-0530-9395)

Luis Neto  [orcid.org/0000-0003-1834-6459](https://orcid.org/0000-0003-1834-6459)

Pinar Ozalp  [orcid.org/0000-0002-2977-6334](https://orcid.org/0000-0002-2977-6334)

## 1. Introduction

Entomopathogenic fungi are the most common pathogens that cause disease in agriculture and forest pests and known to be one of the most important biological control groups due to being cheap and easy to apply and able to enter the host actively when they find suitable conditions for spore germination, (Demirci et al. 2011).

*Beauveria bassiana* (Balsamo) (Ascomycota: Hypocreales: Clavicipitaceae) is a widely-distributed fungus, which affects a broad variety of insect species and is used as a biological pesticide (Dembilio et al. 2010; Fuguet and Vey 2004; Wojda et al. 2009; Xiong et al. 2013). *Beauveria* species attack their host insects percutaneously. The infection pathway consists of the following steps; attachment of the spore to the insect cuticle, spore germination on cuticle, penetration through the cuticle, overcoming the host immune response, proliferation within the host, saprophytic outgrowth from the dead host and production of new conidia (de Fariaa and Wraight, 2007; Keswani et al. 2013). Due to being the first barrier encountered by fungi, insect cuticle synthesizes a wide variety of extracellular enzymes involved in the degradation of protein, chitin, and lipids which are the principal components of the insect's cuticle. After the death of the insect, the fungus produces thousands of new spores on the dead body which disperse and continue their cycle on new hosts (Pedrini et al. 2007; Schrank and Vainstein 2010; Pelizza et al. 2017).

Due to the ease of breeding on alternative hosts, high aggressive parasitism and wide geographic distribution, *Trichogramma* species are widely used agents for biological control (Souza et al. 2016). *Trichogramma cacoeciae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) is a species of parasitoids of insect eggs that has been reported by several researchers to be efficient in comparison to several other parasitoids of insect pests (Potrich et al. 2015).

Investigations regarding the effects of chemical insecticides on parasitoids are common, however there are few studies on the efficiency of entomopathogenic fungi on parasitoids and combined use of biological control methods. The aim of the study is to know about interactions between biological control agents, used in combination or simultaneously and understand the effects of entomopathogenic fungi by using *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) as host organism.

## 2. Materials-Methods

### 2.1. Insect Rearing

*G. mellonella* larvae were reared in the dark at 30 °C and %65 humidity in an incubator. Larvae were reared during the first and second instars with pollen and wax, afterwards in an artificial diet were prepared with a mixture of glycerol, honey, water, dry dog food, and wheat bran.

Adult *T. cacoeciae* were used in this experiment. Parasitoids were reared on *G. mellonella* eggs in the laboratory conditions at 23±1 °C and 16:8 photoperiods. Adults were fed with a droplet of a honey solution.

### 2.2. Culture of *B. bassiana*

The entomopathogenic fungus *B. bassiana* was cultivated and maintained on a rich medium, potato dextrose agar (PDA; Biokar), incubated at 25±1 °C, under dark conditions, for 15 days to allow fungal growth and conidial production.

Conidia were harvested in PBS and %1 (v/v) Tween 20, by scrapping the surface of PDA culture with a sterile loop. The different conidia concentrations were estimated by using Neubauer haemocytometer and the different concentration for each culture (10<sup>5</sup>, 10<sup>6</sup>, 10<sup>7</sup>, 10<sup>8</sup> conidia/mL) were prepared and tested for its efficacy on last instar larvae of *G. mellonella* and *T. cacoeciae*.

### 2.3. Mortality of *G. mellonella* Larvae

Last instar *G. mellonella* used for the experiment were selected to be similar in size (250–270 mg). Four different suspensions (10<sup>5</sup>, 10<sup>6</sup>, 10<sup>7</sup>, 10<sup>8</sup> conidia/mL) of *B. bassiana* were applied to last larvae instar of *G. mellonella* by injecting 10 µl of suspension using a Hamilton syringe, at the last left pro-leg of larvae. Before injection the proleg was disinfected with %70 alcohol by using a swab. After the treatment with the different concentrations, the larvae were put in 15 mm Petri dishes and incubated, under dark conditions at 30±1 °C for 7 days. For the control, a PBS and Tween 20 mixture was injected. Fifteen larvae were used for each experiment and all the trials were done in triplicates. Larvae mortality was checked daily with a paintbrush. Larvae was considered dead when there was no movement in response to touch. Also, a change on the larvae colour was investigated.

### 2.4. Spray Bioassay

A *B. bassiana* suspension of 10<sup>8</sup> conidia/mL were tested for its effect on *G. mellonella* eggs measured by the emergence ratio of L1 larvae and for its safety on the egg parasitoid of *T. cacoeciae* and measured by the number of parasitized eggs and emergence ratio.

Fresh *G. mellonella* eggs (12 h old) were collected from the top of the rearing pots and divided into little pieces each having at least 40 eggs. For determining the effect of *B. bassiana* on parasitization, the highest concentration of spores ( $10^8$  conidia/mL) were sprayed on the *G. mellonella* eggs, air-dried and then placed in the tubes with one *T. cacoeciae* female. For the control, egg cards were sprayed using the same methodology but using water. After 24h, egg cards were taken from the tubes and put into different tubes to wait hatching or parasitoid emergence. The number of parasitized eggs were evaluated by the number of eggs become dark (Figure 1). The emergence ratio was evaluated by the number of adults emerged in relation to the number of dark eggs. Each modality had 20 replicates. The experiment was conducted at room temperature of  $25\pm 2$  °C, 60% RH and photoperiod 16:8.



**Figure 1.** Parasitized *G. mellonella* eggs.

### 2.5. Statistical Analysis

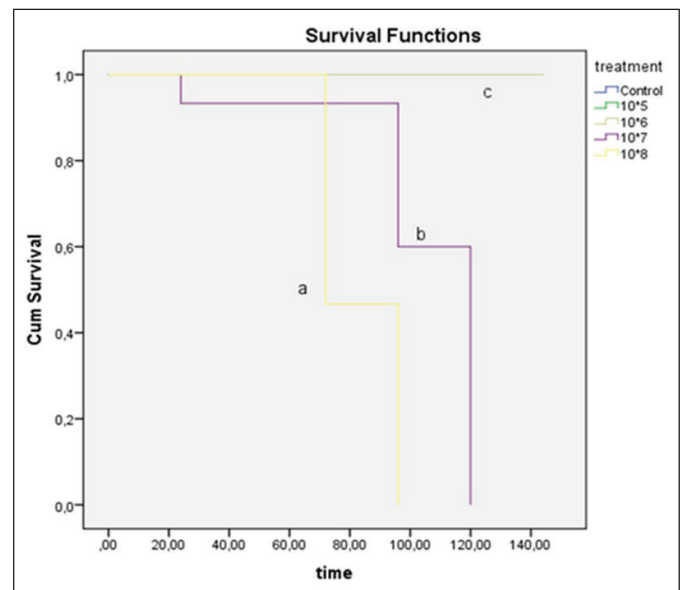
The Kaplan-Meier (SPSS 21 Statistical Programme) test was used for the statistical significance of differences in survival of *G. mellonella* larvae between different conidia concentrations. T test (SPSS 21 Statistical programme) was used for the statistical significance of differences in the effects of *B. bassiana* on egg hatching, number of parasitized eggs and adult parasitoid emergence ratio in relation to control. For emergence ratio data was transformed by prior to data analysis. Differences indicated with a P value of less than <0.05 were considered significant.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Injection Bioassay

The different spore suspensions ( $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$ , and  $10^8$  conidia/mL) of *B. bassiana* which was cultivated in PDA

media were applied on wax moth *G. mellonella*. Physical and motile changes were determined in larvae post-infection with fungal cells and the highest mortality was observed at  $10^7$  and  $10^8$  conidia/mL suspensions due to *B. bassiana* infection as compared to the control larvae. As shown in Fig. 2., the larvae of the  $10^7$  and  $10^8$  conidia/mL of *B. bassiana* injected groups were killed faster compared to the larvae injected with PBS (control),  $10^5$  and  $10^6$  conidia/mL. No mortality was observed in  $10^5$  and  $10^6$  conidia/mL of *B. bassiana* injected groups. Death of larvae was observed in  $10^8$  conidia/mL injected group within 72h but this was delayed to 120h with  $10^7$  conidia/mL of *B. bassiana* injected group (Figure 2).



**Figure 2.** Killing of *G. mellonella* by *B. bassiana*. Kaplan-Meier plots of the control,  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$  and  $10^8$  conidia/mL of *B. bassiana* survival after injection. Little letters represent statistical differences for each treatments of exposure ( $p < 0.05$ ).

Overall, it is obvious that high concentrations of *B. bassiana* reduced survival. Ibrahim et al. (2016) found that *B. bassiana* has 98% larval mortality with lethal time of 1.7 days on *G. mellonella* by using  $10^6$ ,  $10^7$  and  $10^8$  spores/mL of *B. bassiana*. Nedveckyte et al. (2011) also detected *B. bassiana* lead to 100 % mortality within 12 days on *Bupalus piniaria* (L.) larvae at a concentration of  $1 \times 10^8$  spores/mL. It was determined that the virulence of *B. bassiana* against second, third and fourth instar larvae of *Spodoptera litura* by using  $2.03 \times 10^8$ ,  $4.03 \times 10^6$  and  $1.4 \times 10^5$  spores/mL concentrations, and all the treatments resulted in significantly higher mortality than control (Kaur et al. 2011). According to Wraight et al. (2010) Lepidopteran insects such as *Plutella*





**Figure 3.** Black spots as the immune response indicating direct penetration of *B. bassiana*.

*xylostella*, *Obstrinia nubilalis*, *Helicoverpa zea* and *Spodoptera frugiperda* are highly susceptible to *B. bassiana* strains. Later, Correa-Cuadros et al. (2014) also indicated that *B. bassiana* had a mortality of 95, %33 at  $1 \times 10^5$  conidia/cm<sup>2</sup> on *P. xylostella* larvae. These findings are also supported by another study on *G. mellonella* that demonstrated that the mortality of greater wax moth was %0, %8 and %10 at 24, 72 and 120h respectively following infection with *B. bassiana*. By the fifteen days, total mortality was %52 (Chertkova et al. 2018).

According to the morphological changes, prevalence of black spots within the integument increased day by day. Death of the larvae was followed by a change in the body colour to brunny (Figure 3).

According to Hussein et al. (2012), the cuticle of the treated larvae became dark and black-spotted due to excessive melanization, indicating direct attack of the fungus on the defence system of the insect. Xiong et al. (2013) found that *B. bassiana* infected the host larvae of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) mainly by penetrating the integument, and dark spots appeared on the cuticle due to the appearance of melanisation in the hemocoel. After overcoming the host's defense system, the pathogen grew and reproduced in the hemocoel.

### 3.2. Effect of *B. bassiana* on Emergence of *G. mellonella* Eggs and Adult of *T. cacoeciae*, Parasitization

Hatchability of *G. mellonella* eggs were significantly decreased when *B. bassiana* applied to the *G. mellonella* eggs (Table 1;  $p < 0.05$ ). Kaur et al. (2011) determined that *B. bassiana* induced egg hatchability of *S. litura*. In another

study, it was shown that *Metarhizium anisopliae* has a potential effect on both eggs and first larval stage of *Tuta absoluta*, although *B. bassiana* is effective just on egg stages (Inanlı et al. 2012). Yuksel et al. (2017) determined that *B. bassiana* has a high pathogenicity in egg term of *T. absoluta* in vitro conditions. It was also found that egg hatchability ratio was 86 % in control group, while it is 18 % in *B. bassiana* applied group. We were detected the similar results with other studies. It was found that there is a significant difference about emergence of *G. mellonella* eggs between *B. bassiana* applied and the control groups. We assumed that the larvae couldn't be grown inside the eggs or couldn't be emerged due to the fungal infection.

Parasitism and emergence ratio were unaffected by *B. bassiana* (Table 1;  $p > 0.05$ ). Amaro et al. (2015) found that *B. bassiana* had no significant effect on adult emergence, parasitism and progeny viability. Otherwise, according to Potrich et al. (2009) *Metarhizium anisopliae* decreased *Trichogramma pretiosum* emergence and caused mortality. dos Santos Junior et al. (2006) found that *B. bassiana* could cause a significant reduction in parasitism of larvae of *Plutella xylostella* L. by *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov). However, Greathead and Prior (1990) maintained that there are no signs of intolerance adverse effects by *Metarhizium flavouiride* on a number of non-target species.

**Table 1.** Effects of *B. bassiana* on *G. mellonella* and *T. cacoeciae*. Little letters represent statistical differences for each treatments of exposure ( $p < 0.05$ ).  $X \pm sx$  = mean  $\pm$  standard error.

	Variable	Control
Hatching ratio	19.4 $\pm$ 4.23 b	37.4 $\pm$ 3.42 a
Number of parasitized eggs	15.0 $\pm$ 1.91 a	11.4 $\pm$ 1.48 a
Parasitoid emergence ratio	0.40 $\pm$ 0.03 a	0.65 $\pm$ 0.05 a

The use of chemical insecticides induces adverse effects to the beneficial insects and non-target organisms in the ecosystem due to its toxins. *B. bassiana* is a biopesticide that has high virulence against pests, while little or no virulence against non-target organisms such as parasitoids. This is particularly important in the case of pest control, since *B. bassiana* present low risk for humans and other mammals, and it easily cultured and formulated.

In the present study, when we applied *B. bassiana* on *G. mellonella* larvae and eggs, we were determined that

there is an important effect on mortality of *G. mellonella* larvae, hatchability of *G. mellonella* eggs, however there is no significant effect on parasitism and emergence ratio of *T. cacoeciae*, so that this fungus could be used in pest management studies in order to control the pests in the fields.

#### 4. References

- Amaro, J.T., Bueno, A.F., Pomari-Fernandes, A.F., Neves, P. 2015.** Selectivity of Organic Products to *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Neotrop Entomol.*, 44: 489–497. Doi: 10.1007/s13744-015-0317-2
- Chertkova, E.A., Grizanov, E.V., Dubovskiy, I.M. 2018.** Bacterial and fungal infections induce bursts of dopamine in the haemolymph of the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* and greater wax moth *Galleria mellonella*. *J Invertebr Pathol.*, 153: 203–206. Doi: 10.1016/j.jip.2018.02.020
- Correa-Cuadros, J.P., Rodríguez-Bocanegra, M.X., Sáenz-Aponte, A. 2014.** Susceptibility of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae; Linnaeus 1758) to *Beauveria bassiana* Bb9205, *Metarhizium anisopliae* Ma9236 and *Heterorhabditis bacteriophora* HNI0100. *Univ Sci.*, 19(3): 277–285. Doi: 10.11144/Javeriana.SC19-2.spxl
- Dembilio, Ó., Quesada-Moraga, E., Santiago-Álvarez, C., Jacas, J.A. 2010.** Potential of an indigenous strain of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* as a biological control agent against the Red Palm Weevil *Rhynchophorus ferrugineus*. *J. Invertebr. Pathol.*, 104(3): 214–221. Doi: 10.1016/j.jip.2010.04.006
- Demirci, F., Muştu, M., Kaydan, M.B., Ülgentürk, S. 2011.** Laboratory evaluation of the effectiveness of the entomopathogen; *Isaria farinosa*, on citrus mealybug, *Planococcus citri*. *J. Pest. Sci.*, 84: 337–342. Doi: 10.1007/s10340-011-0350-9
- De Faria, M.R., Wraight, S.P. 2007.** Mycoinsecticides and Mycoacaricides: A comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biol. Control*, 43: 237–256. Doi: 10.1016/j.biocontrol.2007.08.001
- Dos Santos, H.J. Jr, Marques, E.J., Barros, R., Manoel Gondim, M.G. Jr, Zago, H.B., da Silva, CCM. 2006.** Effect of *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. and *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. on adults of *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae). *Acta Sci. Agron.*, 28 (2): 241–245. Doi: 10.4025/actasciagron.v28i2.1106
- Fuguet, R., Théraud, M., Vey, A. 2004.** Production in vitro of toxic macromolecules by strains of *Beauveria bassiana*, and purification of a chitosanase-like protein secreted by a melanizing isolate. *Comp. Biochem. Physiol.*, 138: 149–161. Doi: 10.1016/j.cca.2004.06.009
- Greathead, D.J., Prior, C. 1990.** The Regulation of Pathogens for Biological Control with Special Reference to Locust Control. In: *Proceedings of the Workshop on Health and Environmental Impact of Alternative Control Agents for Desert locust control.* (Somme, L. and Bie, S. eds.). *Noragric Occasional Papers Series C: Development and Environment*, 5: 65–80.
- Hussein, K.A., Abdel-Rahman, M.A., Abdel-Mallek, A.Y., El-Maraghy, S.S., Joo, J.H. 2012.** Pathogenicity of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against *Galleria mellonella*. *Phytoparasitica*, 40: 117–126. Doi: 10.1007/s12600-011-0204-2
- Ibrahim, A.A., Mohamed, H.F., El-Naggar, S.M., Swelim, M.A., Elkhawaga, O.E. 2016.** Isolation and Selection of Entomopathogenic Fungi as Biocontrol Agent against the Greater Wax Moth, *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae). *Egypt J. Biol. Pest. Co.*, 26(2): 249–253.
- Inanlı, Z., Yoldas, A., Birgücü, K. 2012.** Effects of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* (Bals.) and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) on larvae and egg stages of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Ege J. Agri. Res.*, 49(3): 239–242. Doi: 10.20289/zfdergi.69694
- Khetan, S. 2001.** Microbial pest control. New York: Marcel Dekker, 16 pp.
- Nedveckyte, I., Pečiulyte, D., Dirginčiute-Volodkiene, V., Buda, V. 2011.** Pine defoliator *Bupalus piniaria* (L.) (Lepidoptera: Geometridae) and its entomopathogenic fungi. 2. Pathogenicity of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Isaria farinosa*. *Ekologija*, 57(1): 12–20. Doi: 10.6001/ekologija.v57i1.1305
- Pečiulytė, D., Nedveckytė, I., Dirginčiūtė-Volodkienė, V., Būda, V. 2010.** Pine defoliator *Bupalus piniaria* L. (Lepidoptera: Geometridae) and its entomopathogenic fungi 1. Fungi isolation and testing on larvae. *Ekologija*, 56(1-2): 34–40. Doi: 10.6001/ekologija.v56i1-2.1285
- Pedrini, N., Crespo, R., Juarez, M.P. 2007.** Biochemistry of insect epicuticle degradation by entomopathogenic fungi. *Comp. Biochem. Physiol.*, 146: 124–137. Doi: 10.1016/j.cbpc.2006.08.003
- Pelizza, S.A., Medina, H., Ferreri, N.A., Eliades, L.A., Pocco, M.E., Stenglein, S.A., Lange, C.E. 2017.** Virulence and enzymatic activity of three new isolates of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) from the South American locust *Schistocerca cancellata* (Orthoptera: Acrididae). *Journal of King Saud University – Science (In press)*. Doi: 10.1016/j.jksus.2017.11.006
- Potrich, M., Alves, L.F.A., Haas, J., da Silva, E.R.L., Daros, A., Pietrowski, V., Neves, P.M.O.J. 2009.** Selectivity of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* to *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Neotrop. Entomol.*, 38: 6. Doi: 10.1590/S1519-566X2009000600016

- Potrich, M., Alves, LFA., Lozano, E., Roman, JC., Pietrowski, V., Neves, PMOJ. 2015.** Interactions between *Beauveria bassiana* and *Trichogramma pretiosum* under laboratory conditions. *Entomol Exp. Appl.*, 154: 213–221. Doi: 10.1111/eea.12272
- Schrank, A., Vainstein, MH. 2010.** *Metarhizium anisopliae* enzymes and toxins. *Toxicon*, 56: 1267–1274. Doi: 10.1016/j.toxicon.2010.03.008
- Souza, AR., Giustolin, TA., Querino, RB., Alvarenga, CB. 2016.** Natural parasitism of lepidopteran eggs by *Trichogramma* species (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in agricultural crops in Minas Gerais, Brazil. *Fla. Entomol.*, 99: 221-225 Doi: 10.1653/024.099.0210
- Wojda, I., Kowalski, P., Jakubowicz, T. 2009.** Humoral immune response of *Galleria mellonella* larvae after infection by *Beauveria bassiana* under optimal and heatshock conditions. *J. Insect Physiol.*, 55(6): 525–553. Doi: 10.1016/j.jinsphys.2009.01.014
- Wraight, SP., Ramos, ME., Avery, PB., Jaronski, ST., Vandenberg, JD. 2010.** Comparative virulence of *Beauveria bassiana* isolates against lepidopteran pests of vegetable crops. *J. Invertebr. Pathol.*, 103: 186–199. Doi: 10.1016/j.jip.2010.01.001
- Xiong, Q., Xiea, Y., Zhua, Y., Xuea, J., Li, J., Fan, R. 2013.** Morphological and ultrastructural characterization of *Carposina sasakii* larvae (Lepidoptera: Carposinidae) infected by *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales: Clavicipitaceae). *Micron*, 44: 303–311. Doi: 10.1016/j.micron.2012.08.002
- Yuksel, E., Acıkgöz, C., Demirci, F., Mustu, M. 2017.** Effects of the entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana*, *Isaria farinosa* and *Purpureocillium lilacinum*, on eggs of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Turk. J. Biol. Cont.*, 8(1): 39-48.



## Flaş Elektoretinogram (fERG) Testi İçin Normal Değerlerin Belirlenmesi

### *Determination of Normal Values for Flash Electoretinogram (FERG) Test*

Rukiye Uzun Arslan<sup>1\*</sup> , Okan Erkaymaz<sup>2</sup> , İrem Şenyer Yapıcı<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

<sup>2</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

### Öz

Elektoretinografi, retinal hücrelerin flaş ışıkla uyarılması durumunda ortaya çıkan elektriksel potansiyellerin kayıt altına alınmasıdır. Bu sayede fotoreseptörlerden amakrin hücrelerine kadar olan retinal görme yolları bir bütün olarak değerlendirilebilmektedir. Böylelikle retinal görme yollarının bir bütün olarak değerlendirilmesi mümkün olabilmektedir. Elektoretinografi sinyallerinin elde edilmesinde; kullanılan cihaz, elektrot, uygulanan testlerdeki yöntemler ve laboratuvar koşulları gibi faktörler önemli bir rol oynamaktadır. Elde edilen sinyaller bu faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bundan dolayı her elektrofizyolojik laboratuvarının kendisine özgü normal değerlerini belirlenmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu doğrultuda çalışmamızda flaş elektoretinografi testi için normal değerlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Obezite ve Diyabet Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan cihaz kullanılarak oküler herhangi bir rahatsızlığı bulunmayan bireylere flaş elektoretinografi testi uygulanmıştır. Testin tüm aşamaları Uluslararası Elektrofizyoloji Cemiyeti'nin önerileri doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen test sonuçları kullanılarak normal değerler ortanca cinsinden hesaplanmış olup %95 güven aralığındaki alt ve üst sınır değerleriyle ortaya konulmuştur. Belirlenen normal değerlerin yeni kurulan laboratuvar ortamlarına referans teşkil edebileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İstatistiksel analiz, Flaş elektoretinogram, Normal değer, Oküler elektrofizyolojik testler

### Abstract

Electoretinography is the recording of the electrical potentials when the retinal cells are stimulated with flashlight. In this way, the retinal visual pathways from photoreceptors to amacrine cells can be evaluated as a whole. In this manner, it is possible to evaluate the retinal visual pathways as a whole. In obtaining electoretinography signals; factors such as the device used, the electrode, the methods in the tests performed, and the laboratory conditions play an important role. The obtained signals vary depending on these factors. Therefore, it has become necessary to determine the normal values of each electrophysiological laboratory. In this respect, we aimed to determine normal values for the flash electoretinography test. Flash electoretinography test was applied to individuals who did not have any ocular disease by using the device in Zonguldak Bulent Ecevit University Obesity and Diabetes Research and Application Center. All stages of the test were carried out in accordance with the recommendations of the International Society for Clinical Electrophysiology of Vision. Using the test results, the normal values were calculated in the median and were presented with the upper and lower limits of 95% confidence interval. It is thought that the normal values determined may serve as a reference for newly established laboratory environments.

**Keywords:** Statistical analysis, Flash electoretinogram, Normal value, Ocular electrophysiological tests


### 1. Giriş


Oküler elektrofizyolojik testler göz rahatsızlıklarının tanı ve teşhisinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu bağlamda uzman hekimler göz muayenesinin değerlendirilmesinde elektro-

külografi, elektoretinografi ve görsel uyarılmış potansiyeller gibi çeşitli elektro-fizyolojik testlerden yararlanmaktadır (Marmor vd. 2004). Bu testler klinik olarak tespit edilemeyen ancak görme şikayeti olan bireylerin görme sorunlarının nedenlerinin açığa çıkarılmasında, retina ve optik disk hastalıklarının ayırt edilmesinde ve makula, glokom gibi rahatsızlıkların değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Gündoğan vd. 2006, Miguel-Jiménez vd. 2012, Öztürk vd. 2015).

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: rukiyeuzun67@gmail.com

Rukiye Uzun Arslan  [orcid.org/0000-0002-2082-8695](https://orcid.org/0000-0002-2082-8695)

Okan Erkaymaz  [orcid.org/0000-0002-1996-8623](https://orcid.org/0000-0002-1996-8623)

İrem Şenyer Yapıcı  [orcid.org/0000-0003-0655-340X](https://orcid.org/0000-0003-0655-340X)

Elektoretinografi (ERG), flaş bir uyarın vasıtasıyla retinanın uyarılması sonucu retinadan elde edilen elektriksel yanıtın değerlendirilmesinde kullanılan klinik bir testtir (Barraco vd. 2011). ERG testinin kendi içerisinde patern elektoretinografi (PERG), flaş elektoretinografi (fERG) ve multifokal elektoretinografi (mfERG) olmak üzere üç farklı çeşidi bulunmaktadır. PERG’de uyarın olarak satranç tahtası veya çubuk şeklindeki desenler kullanılmaktadır. Bu desenlerin yanıp sönmeye sonucunda retinanın elektriksel potansiyelinde meydana gelen değişim kayıt edilmektedir (Celesia ve Kaufman 1985, Öztürk vd. 2015). fERG’de flaş şeklinde bir ışık uyarın kullanılarak retinanın kitlesel yanıtı kayıt altına alınmaktadır. mfERG’de ise retina çok sayıda alanla bölünerek, her bir alandaki yerel (fokal) yanıtlar kaydedilmektedir (Lai vd. 2007, Miguel-Jiménez vd. 2010). ERG kayıtlarının alınmasında Uluslararası Görme Elektrofizyolojisi Topluluğu (ISCEV)’nun belirlediği standartlar göz önünde bulundurulmaktadır (Güven 2005, Miguel-Jiménez vd. 2015).

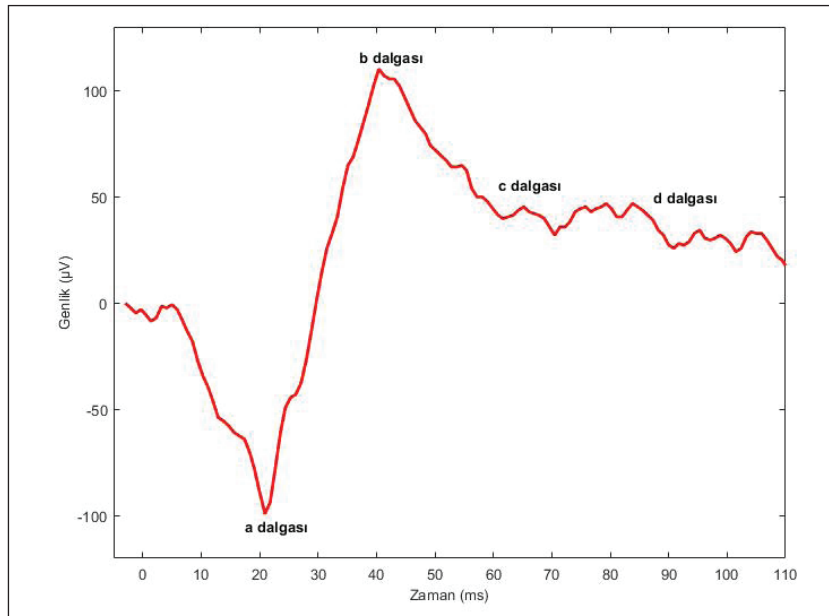
Diğer taraftan göz sinyalleri milisaniyelik bir zamanda mikro volt gibi oldukça küçük değerlere sahip biyoelektriksel potansiyellerdir. Bundan dolayı elektrofizyolojik testlerde elde edilen sonuçlar bireye, test ortamına, kullanılan ölçüm cihazına ve testlerin uygulanma şeklindeki farklılıklara bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle testler için standart ölçüm değerleri tam olarak tanımlanamamakla birlikte her bir elektrofizyolojik laboratuvarının kendi normal değerlerini belirlenmesi zorunlu hale gelmiştir (Gündoğan vd. 2006). Literatürde PERG (Gündoğan vd.

2006, Öztürk vd. 2015), fERG (Gündoğan vd. 2006) ve mfERG (Bağkesen vd. 2012) testleri için farklı laboratuvar ortamlarının normal değerlerinin tanımlandığı çalışmalar mevcuttur. Yapılan bu çalışmada ise Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Obezite ve Diyabet Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan Metrovision MonPackOne Elektrokülografi cihazından alınan fERG ölçümleri için normal değerlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Böylelikle aynı cihaz kullanılarak yapılacak olan ilerideki çalışmalara referans oluşturulması hedeflenmiştir.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Elektoretinogram (ERG)

fERG, gözün kısa süreli bir ışık flaşıyla uyarılması sonucunda retinal hücrelerin tümünden elde edilen kitlesel elektriksel potansiyelin kayıt edilmesidir. Dewar 1877 yılında insan üzerinde ilk ERG kaydını gerçekleştirmiştir. Ardından 1908 yılında Eindhoven ve Jolly tarafından ERG’de a, b, c ve d dalgalarını tanımlamışlardır (Şekil 1) (Tzekov ve Barden 1999). Bu dalgalardan a dalgası sadece fotoreseptif tabakadan, b dalgası bipolar-Müller hücre kompleksinden ve c dalgası ise pigment epitelyum tabakasında oluşan aktivitelere bağlı olarak oluştuğu bilinmektedir. d dalgası ise uyartım bittiğindeki kapama yanıtı olarak ifade edilmektedir (Miller ve Dowling 1970, Hood ve Birch 1993, Sieving vd. 1994, Öner 2004, Gauvin vd. 2014). Klinikte rutin araştırmalarda a ve b dalgası incelenerek bireyin göz rahatsızlığının olup olmadığı tespit edilebilmektedir (Aksu



Şekil 1. Normal bir bireyden elde edilen ERG sinyal örneği.

vd. 2019). Bu bağlamda yapılan bu çalışmada da söz konusu ERG dalgaları göz önünde bulundurularak kullanılan ölçüm cihazı için standartlar belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2.2. Veri Toplama

Yapılan bu çalışmada Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi (ZBEÜ) Obezite ve Diyabet Uygulama ve Araştırma Merkezine başvuran yaşları 18 ila 70 arasındaki 13 kişinin 26 gözünden elde edilen fERG sinyallerinden yararlanılmıştır. Çalışma ZBEÜ İnsan Araştırmaları Etik Kurulundan onay alındıktan sonra başlatılmıştır. fERG alımı Helsinki Deklarasyonuna uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Yanı sıra testlerden önce bireylere gerekli bilgilendirmeler yapılarak onayları alınmış ve uzman hekimler tarafından oftalmolojik muayeneleri yapılmıştır.

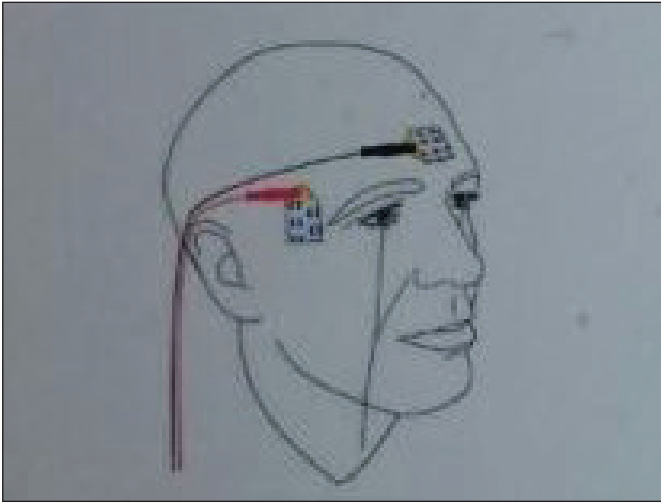
fERG sinyallerinin alımında ZBEÜ Bilimsel Araştırmalar Projesi (BAP) kapsamında alımı gerçekleştirilmiş olan Metrovision MonPackOne Elektrokülografi cihazı kullanılmıştır. Testin tüm adımları ISCEV' in tavsiyeleri doğrultusunda gerçekleştirilmiştir (Marmor vd. 2004). Bu bağlamda öncelikle ölçüm için her iki göz önceden dilate

edilmiştir. Farklı elektrot kullanımına da imkan sağlayan cihazda Dawson-Trick-Litzkow (DTL) plus tipi elektrot seçilerek, elektrot her iki gözün alt konjonktival kesesine yerleştirilmiştir. Referans ve toprak elektrotları ise sırasıyla alnın yanlarına ve orta kısmına yerleştirilmiştir (Şekil 2). Daha sonra bireylere önce karanlık (yani bireyin 20 dakika karanlık bir odada bekletilmesi) sonra aydınlık (15 dakika bireyin aydınlık ortamda bekletilmesi) adaptasyon uygulanarak, her bir durumda cihazdan gönderilen uyarana karşı gözün elektriksel potansiyelinde meydana gelen değişimler kayıt edilmiştir (Uzun vd. 2018).

ERG sinyallerinin kaydı için ISCEV tarafından üç farklı adım ortaya konulmuştur. Bunlardan rod yanıtı 20 dakikalık karanlık adaptasyon sonrası ERG kaydı sırasında ölçülen ilk sinyali içermektedir. Maksimal rod kon yanıtı hem rod hem de kon hücrelerinin birleşik yanıtını oluşturmaktadır. Tek kon yanıtı ise aydınlık adaptasyon sonrası kon hücrelerinden elde edilen yanıtıdır (Marmor vd. 2004).

## 3. Bulgular

Çalışma kapsamında yaşları 18 ila 70 arasında değişen 13 kişiye fERG testi uygulanmıştır. Testin uygulanmasından önce her bireyin göz muayenesi uzman bir hekim tarafından yapılarak oküler herhangi bir rahatsızlığının olmadığı tespit edilmiştir. Bu doğrultuda 13 sağlıklı bireyden elde edilen 26 adet göz sinyali verisi kullanılarak ortanca cinsinden normal değerler hesaplanmıştır. Ayrıca %95 güven aralığı temel alınarak oluşan normal değerlerin alt ve üst sınır değerleri de belirtilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen istatistiksel analizler SPSS 22.0 istatistiksel paket programı kullanılarak ortaya konulmuştur. Bu doğrultuda fERG dalgasının iki önemli bileşeni olan a ve b dalgaları için elde edilen latans ve amplitüd (genlik) değerleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. ERG ölçümünde kullanılan elektrotların yerleşimi.

Çizelge 1. Flaş elektoretinogramın a dalgası için elde edilen normal değerler.

ERG Cevabı	Dalga	Parametreler			
		Latans (ms)		Amplitüd (µvolt)	
		Ortanca	%95 Güven Aralığı	Ortanca	%95 Güven Aralığı
Rod cevabı	a	32	27-37	10	4-27
Maksimal rod-kon cevabı	a	20	19-21	96	87-107
Tek kon cevabı	a	14	13-15	16	12-18

**Çizelge 2.** Flaş elektoretinogramın b dalgası için elde edilen normal değerler.

ERG Cevabı	Dalga	Parametreler			
		Latans (ms)		Amplitüd (µvolt)	
		Ortanca	%95 Güven Aralığı	Ortanca	%95 Güven Aralığı
Rod cevabı	b	81	76-85	110	87-144
Maksimal rod-kon cevabı	b	41	39-43	198	174-224
Tek kon cevabı	b	29	28-29	52	48-58

#### 4. Tartışma

fERG ile gözün flaş bir ışık ile uyarılması sonucu retina tabakasının elektriksel potansiyelinde meydana gelen kitlesel değişimin kayıt altına alınmasında kullanılan elektrodyagnostik bir testtir. Bu test genellikle retinada yer alan fotoreseptör hücrelerin (yani rod ve kon hücrelerinin) işlevlerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu sayede göz muayenesiyle belirlenemeyen göz rahatsızlıklarının tanı ve teşhisi mümkün kılınabilmektedir (Güven ve Kara 2006).

Elektrofizyolojik testlerin güvenilirliği kullanılan tekniğin standartlığına, açık bir şekilde belirtilen test aşamalarının tam olarak uygulanmasına bağlıdır. Fakat ISCEV tarafından fERG testine ait standart ölçüm sonuçları belirtilmediğinden, laboratuvarlar arasında sonuçların yorumlanmasında karmaşalar yaşanmaktadır. Farklı laboratuvarlarda aynı veya farklı bir cihazın kullanıp kullanılmamasına bakılmaksızın farklı normal değerler elde edilebilmektedir. Bu bağlamda her bir laboratuvar ortamı için normal değerlerin tanımlandığı birçok farklı çalışma gerçekleştirilmiştir. Gündoğan ve arkadaşları (2006) fERG normal değerlerinin oluşturulması için yaptıkları çalışmada ve yapılan bu çalışmada a ve b dalgaları için farklı amplitüd ve latans değerleri ortaya koyulmuştur. Her bir çalışmada elde edilen sonuçlar arasında farklılıklar gözlemlenmiştir. Bunun nedeni alınan fERG sinyallerinin genliklerinin çok küçük olmasından, fizyolojik faktörlerden (bireyin yaşı, cinsiyeti, adaptasyon durumları gibi), ölçüm esnasında meydana gelen artefaktlardan (göz kırpması, göz sulanması, göz hareketleri gibi) ve kullanılan cihazın teknik özelliklerindeki farklılıklardan (kullanılan elektrotun yerleşimi, uyarımın süresi, uyarın şiddeti gibi) kaynaklanmaktadır. Artefaktların ihmal edilebilir seviyelerde olduğu bu çalışmada, Metrovision MonPackOne Elektrokülografi cihazıyla yapılacak olan fERG testiyle retinaya bağlı oluşabilecek rahatsızlıkların tanısında kolaylık ve güvenilirlik sağlayacağı düşünülmektedir. Bunun yanı sıra yeni kurulan laboratuvarlar başlangıç aşamasında referans

değer olarak bu çalışmada belirlenen normal değerleri kullanabilirler. Yapılan bu çalışmada literatürde daha önce ERG testi aşamalarında kullanılmamış olan Metrovision MonPackOne Elektrokülografi cihazı için laboratuvarda yapılacak ERG sinyalleri için referans değer aralıkları belirlenmiştir. Böylelikle bu değer aralıklarının retinaya bağlı hastalıkların teşhisinde uzman hekimlere yardımcı olacağı kanaatindeyiz.

#### 5. Teşekkür

Bu araştırma Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır. Ayrıca Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (BAP) tarafından 2017\_75737790\_01 proje numarası ve “Elektoretinogram (ERG) Sinyali ile Göz Hastalıklarının Tespiti” adıyla desteklenmiştir.

#### 6. Kaynaklar

- Aksu, S., Kurt, A., Soyata, AZ., Saçar, KT., Taşdelen, S., Karamürsel, S. 2019. Elektoretinografi ve görsel uyarılmış potansiyel ölçümlerinde zenon ve LED ışık kaynaklarının karşılaştırılması. *Anadolu Klin.*, 24(2):78-86. <https://doi.org/10.21673/anadoluklin.472427>
- Bağkesen, H., Bayer, A., Uysal, Y., Sobacı, G. 2012. Multifokal elektoretinogram (mfERG) kadran ve halka analizi için normal değerlerimiz. *Retina-J. Ret. Vit. Dis.*, 20(3):199-202.
- Barraco, R., Adorno, DP., Brai, M. 2011. An approach based on wavelet analysis for feature extraction in the a-wave of the electroretinogram. *Comput. Meth. Prog. Bio.*, 104(3):316-324. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2011.05.001>
- Celesia, GG., Kaufman, D. 1985. Pattern ERGs and visual evoked potentials in maculopathies and optic nerve diseases. *Invest. Ophth. Vis. Sci.*, 26(5):726-735.
- Gauvin, M., Lina, JM., Lachapelle, P. 2014. Advance in ERG analysis: from peak time and amplitude to frequency, power, and energy. *Biomed. Res. Int.*, 2014, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/246096>

- Gündoğan, FÇ., Erdem, Ü., Sobacı, G., Bayraktar, Z. 2006.** Desen elektoretinogram (PERG) normal değerlerimiz. *Güllane TD*, 48(1):19-21.
- Gündoğan, FÇ., Erdem, Ü., Hamurcu, MŞ., Sobacı, G., Bayraktar, M. Z. 2006.** Flaş elektoretinogram (FERG) normal değerlerimiz. *Güllane TD*, 48(1):14-18.
- Güven, A. 2005.** Göze ait elektrofizyolojik sinyaller kullanılarak yapay sinir ağları destekli bazı göz hastalıklarının teşhisi. *Doktora Tezi*, Erciyes Üniversitesi, 105 s.
- Güven, A., Kara, S. 2006.** Diagnosis of the macular diseases from pattern electroretinography signals using artificial neural networks. *Expert. Syst. Appl.*, 30(2):361-366. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.07.015>
- Hood, DC., Birch, D. G. 1993.** Human cone receptor activity: The leading edge of the a-wave and models of receptor activity. *Visual Neurosci*, 10(5):857-871. <https://doi.org/10.1017/S0952523800006076>
- Lai, TY., Kwok, AK., Au, AW., Lam, DS. 2007.** Assessment of macular function by multifocal electroretinography following epiretinal membrane surgery with indocyanine green-assisted internal limiting membrane peeling. *Graef. Arch. Clin. Exp.*, 245(1):148-154. <https://doi.org/10.1007/s00417-006-0352-0>
- Marmor, MF., Holder, GE., Seeliger, MW., Yamamoto, S. 2004.** Standard for clinical electroretinography. *Doc. Ophthalmol.*, 108(1):107-114. <https://doi.org/10.1023/B:DOOP.0000036793.44912.45>
- Miguel-Jiménez, JM., Boquete, L., Ortega, S., Rodriguez-Ascariz, JM., Blanco, R. 2010.** Glaucoma detection by wavelet-based analysis of the global flash multifocal electroretinogram. *Med. Eng. Phys.*, 32(6):617-622. <https://doi.org/10.1016/j.medengphys.2010.02.019>
- Miguel-Jiménez, JM., Ortega, S., Boquete, L., Rodriguez-Ascariz, JM., Blanco, R. 2011.** Multifocal ERG wavelet packet decomposition applied to glaucoma diagnosis. *Biomed. Eng. Online*, 10(1):37-49. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-10-37>
- Miguel-Jiménez, JM., Blanco, R., De-Santiago, L., Fernandez, A., Rodriguez-Ascariz, JM., Barea, R., Boquete, L. 2015.** Continuous-wavelet-transform analysis of the multifocal ERG waveform in glaucoma diagnosis. *Med. Biol. Eng. Comput.*, 53(9):771-780. <https://doi.org/10.1007/s11517-015-1287-6>
- Miller, RF., Dowling, JE. 1970.** Intracellular responses of the Müller (glial) cells of mudpuppy retina: Their relation to b-wave of the electroretinogram. *J. Neurophysiol.*, 33(3):323-341. <https://doi.org/10.1152/jn.1970.33.3.323>
- Öner, AÖ. 2004.** Oküler klinik elektrofizyoloji. *Erciyes Tıp Derg.*, 26(1):33-38.
- Öztürk, N., Gündüz, MK., Okka, M. 2015.** Patern elektoretinografide normal değerler. *Retina-J. Ret. Vit. Dis.*, 23(3):231-236.
- Sieving, PA., Murayama, K., Naarendorp, F. 1994.** Push-pull model of the primate photopic electroretinogram: A role for hyperpolarizing neurons in shaping the b-wave. *Vis. Neurosci.*, 11(3):519-532. <https://doi.org/10.1017/s0952523800002431>
- Tzekov, R., Arden, GB. 1999.** The electroretinogram in diabetic retinopathy. *Surv. Ophthalmol.*, 44(1):53-60. [https://doi.org/10.1016/s0039-6257\(99\)00063-6](https://doi.org/10.1016/s0039-6257(99)00063-6)
- Uzun, R., İşler, Y., Şenyer Yapıcı, İ., Ayar, O., Erkaymaz, O. 2018.** Dalgacık tabanlı temel bileşen analizi ile elektoretinogram sinyallerinde gürültü bastırılması. *2nd International Symposium on Multidisciplinary and Innovative Technologies*, s. 10, Ankara.





## Farklı Kadmiyum ve Kurşun Oranlarının Ergin *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae)'nin Yumurta Üretimi ve Açılımı Üzerine Etkileri

*Effects of Different Cadmium and Lead Rates on the Egg Production and Hatchability of Adult Pimpla turionellae L. (Hymenoptera: Ichneumonidae)*

Bilge Nur Kaydan , Mehmet Sulanç\* 

Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Balcalı, Adana, Türkiye

### Öz

Bu çalışmada, kurşun-nitrat ve kadmiyum-klorür gibi ağır metallerin *Pimpla turionellae* L.(Hymenoptera: Ichneumonidae) ergin dişilerinin yumurta verimi ve açılımı üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Deneylede, kurşun-nitratın besine katılan tüm konsantrasyon değerleri kontrol grubuna göre böceklerin toplam yumurta sayısı ve açılma oranını etkilememiştir. Bununla beraber %0.50 ve %1.00 oranında kadmiyum-klorür içeren sentetik besin hem toplam yumurta sayısı hem de açılma oranını önemli derecede azaltmıştır. Bunun tam tersine %5.00 kadmiyum-klorür konsantrasyonu yumurta verimliliği ve açılma yüzdesini kontrol grubuna göre arttırmıştır. Sonuç olarak, kadmiyum-klorür, yumurta verimi ve yumurta açılım yüzdesini kurşun-nitrat'tan daha fazla düşürmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kadmiyum, Kurşun, *Pimpla turionellae*, Yumurta açılımı, Yumurta üretimi

### Abstract

In this study, the effects of heavy metals such as lead-nitrate and cadmium-chloride on the egg production and hatchability of the adult females of *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae) were investigated. In the experiments, in all rates of lead-nitrate, added to diets did not significantly affect the total egg productions and percentages of egg hatch comparing to the control group. Furthermore, both total egg productions and their hatchability were significantly decreased by the synthetic diet consisting of 0.50 mg percent and 1.00 mg percent of cadmium-chloride rates. However, 5.00 mg percent of cadmium-chloride concentration increased the egg production and percentage of egg hatch compared to the control group. Consequently, cadmium-chloride decreased the values of egg productions and percentages of egg hatch more than lead-nitrate.

**Keywords:** Cadmium, Lead, *Pimpla turionellae*, Egg hatchability, Egg production

### 1. Giriş

Son yıllarda çeşitli sebeplerle ortaya çıkan çevre kirliliği gündemi meşgul eden oldukça önemli bir sorundur. Çevrenin kirlenmesine yol açan etkenlerden biri olan ağır metaller hava, su, toprak ve bunlara bağlı olarak flora ve fauna kirliliğine sebep olmaktadır (Ortel 1989, 1991, 1995a, Türkan 1995, Florea ve Büsselberg 2006, Chouhan vd. 2017). Eser miktarlarda bile tehlikeli olan ağır metallerin atom numaraları büyüdükçe toksisite dereceleri de artmakta ve toksisite derecesinin artmasına bağlı olarak canlı sistemlerde ağır tahribatlara neden olmaktadır. Bu yönüyle ağır metaller

özellikle biyolojik kontrol ajanı olarak kullanılan predatör böcek türlerinin popülasyonlarının azalması ve zamanla yok olması açısından oldukça önem arz etmektedir. Ağır metallerin ekosistemden elimine edilememesi (Linde vd. 1996) sorunun önemini bir kat daha artırmaktadır.

Ağır metaller arasında bulunan kurşun endüstride oldukça geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Doğal su ortamlarında çok düşük miktarlarda bulunmakla birlikte miktarındaki artış atmosferik birikim yoluyla gerçekleşir. Araç trafiğinin yoğun olduğu alanlarda, şehir merkezlerinde ve maden tasviye alanlarında atmosferik birikim yüksek olabilir (McLaughlin vd. 1999). Aynı zamanda tarımsal alanlara kurşun girdisi de kurşun katkısı içeren gazların yanması ve demir dışındaki metallerin eritilmesiyle ortaya çıkan atmosferik birikim artışı ile gerçekleşir. Gelişen fotoğrafçılık ve boya sanayinin atıklarının yanı sıra patlayıcı madde üretimi de

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [msulan@cu.edu.tr](mailto:msulan@cu.edu.tr)

Bilge Nur Kaydan  [orcid.org/0000-0003-0599-8984](https://orcid.org/0000-0003-0599-8984)

Mehmet Sulanç  [orcid.org/0000-0002-0938-0084](https://orcid.org/0000-0002-0938-0084)

kurşun kirliliğinin artışına neden olmaktadır. Çeşitli dozlardaki kurşunun değişik canlı türlerinde teratojenik ve klas-tojenik etkilerinin güçlü olduğu gösterilmiştir (Nordenson vd. 1982; Sharma vd. 1988; Lerda 1992; Winder ve Bonin, 1993, Pandey vd. 2016).

Kadmiyum da ekosistemde toksik ağır metal kirlenmelerine neden olan etkenlerden biridir. Kadmiyum, yüksek toksisitesi ve canlı organizmalarda birikme yeteneği nedeniyle son derece toksik ve mutajenik bir metaldir (Jensen vd. 1990; Jensen ve Bro-Rasmussen 1992, McMurrey ve Tainer 2003). Yüksek toksisitesi ile ekolojik anlamda önemli bir sorun olan kadmiyum, çoğunlukla  $Cd^{2+}$  şeklinde +2 değerli katyon olarak bulunur, bazı durumlarda inorganik ligandlarla ilişki kurarak solüsyonda kompleks iyon olarak da bulunabilir (McLaughlin vd. 1996). Aynı zamanda diğer metallerin yerlerine geçerek esas metabolikler ile rekabete girerek hücrel membran transport mekanizmasını etkileyip (Gregory 1997), lipid, protein ve nükleik asitlerin oksidatif hasarlarına yol açarak (Mikhailov vd. 1997), anti-oksidatif ve detoksifikasyon enzimlerinin aktivitesini değiştirip, nörohormonların sentez ve salınımını engelliyerek etkisini gösterir (Lijun vd. 2005, İlijin vd. 2010).

Belirtilen yollarla besin, su, toprak ve hava ortamlarında miktarı artan ağır metaller çeşitli canlı türlerinde kalıcı zararlara yol açmakta ve hatta ölümlere neden olmaktadır. (Gupta 2013, Suganya vd. 2016). Bu olumsuz durum özellikle biyolojik kontrol programlarında kullanılabilirliği olan böcek türleri için biyo-indikatör nedeni olarak değerlendirilebilir.

Aynı zamanda diğer canlı organizmalarda da olduğu gibi ekosistemlerinde gelişen olumsuz faktörlerden etkilenmeleri kaçınılmazdır. Örneğin *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae) bir kaç lepidopter türünün pupal endoparazitoididir ve kolaylıkla kültüre alınabilen parazitik hymenopterlerin ilk temsilcisidir (Yazgan 1981).

*Pimpla turionellae*'de kadmiyum, kurşun ve kadmiyum + kurşunun beslenme yoluyla özellikle kadmiyumla kontamine olan parazitoidlerin su içeriğinde bir artma ile birlikte total lipid ve protein içeriğinde bir azalma bulunmuş (Ortel 1991), aynı zamanda su ve besin içeriğine bakılarak kadmiyumun kurşuna göre daha düşük konsantrasyonlarda ortalama ömrü azalttığı belirlenmiştir. *Ceratitis capitata*'da kurşun, kadmiyum ve bakırın besin yoluyla birikimi ve metallerin tek tek pupal parazitoid *Coptera occidentalis*'e transferi kontamine diyetler yoluyla deneysel olarak incelenmiş, kadmiyum ve çinkonun, kurşun ve bakırdan daha fazla birikim yaptığı gözlenmiştir (Kazimirova ve Ortel, 2000).

Her ne kadar belirtilen çalışmalar böceklerin ağır metal kirlenmelerinden etkilenme durumlarına ışık tutsa da çoğunluğu larval dönemde gerçekleştirilmiş olup ergin bir dişinin yumurta üretimi ve verimliliği konusunda yetersiz kalmaktadır. Özellikle biyolojik kontrol ajanı olarak kullanılan böceklerin ağır metal etkileri altında, yumurta üretebilirliği ve yumurtaların açılımlarının nasıl etkilendiğinin bilinmesinin biyolojik mücadelede avantaj sağlayacağı bir gerçek olup, bu bilgiler ışığında sunulan çalışmanın amacı, kurşun ve kadmiyumun değişen çevre şartlarında en çok rastlanan kompleksleri olan kurşun nitrat ve kadmiyum klorürün artan konsantrasyonlarının *P. turionellae* ergin dişilerinin yumurta üretimi ve açılımı üzerine etkilerini araştırmaktır.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Böcek Kültürünün Devamlılığı ve Deney Böceklerinin Beslenmesi

Deney böceklerinin elde edilmesi, beslenmesi, laboratuvar koşullarının belirlenmesi, yumurta eldesi ve açılımın sağlanması işlemleri Emre (1988) tarafından belirlenen yöntem ve teknikler uygulanmıştır.

### 2.2. Deney Besinlerinin Hazırlanması

Deneyler sırasında kontrol besin olarak Emre (1988) tarafından kimyasal yapısı belirlenen sentetik besin bileşimi kullanılmıştır. Bu besine %0.05, %0.1, %0.5, %1.0 ve %5.0 oranlarında kurşun nitrat ve kadmiyum klorür çözeltilerinin eklenmesiyle hazırlanan besinlerle *P. turionellae* ergin dişileri beslenmiştir.

#### 2.2.1. Kontrol besinin hazırlanması

Çalışmada Emre (1988) tarafından kullanılan kontrol besinin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilmiştir

**Amino asit karışımı:** Bu karışım 100 gramlık stok halinde hazırlanmıştır. Karışımda yer alan amino asit miktarları gram olarak şöyledir: Alanin 7.0; arjinin-HCl 5.0; aspartik asit 6.5; fenilalanin 5.5; glisin 6.0; glutamik asit 10.5; hidroksprolin 1.9; histidin 4.0; izolösin 5.2; lizin 5.3; lösin 7.7; methionin 3.0; prolin 8.2; serin 6.5; sistein 1.3; tirozin 4.0; treonin 5.5; triptofan 2.0; valin 4.5. Belirtilen miktarlarda alınan amino asitler porselen havan içinde ezilerek toz haline getirilmiş ve karışım homojen yapıya kavuşturulmuştur. Karışım renkli bir şişeye konularak ağzı sıkı şekilde kapatılarak saklanmıştır. 100 ml'lik stok besine bu karışımdan 3.0 g katılmıştır.

**İnorganik tuz karışımı:** Bu karışım için 0.8580 g  $CaCl_2$ ; 0.1572 g  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ; 0.1356 g  $CoCl_3 \cdot 6H_2O$ ;

**Çizelge 1.** *Pimpla turionellae* bireylerini beslemede kullanılan temel besin bileşimi.

Besin bileşimi	g/100ml
L-Amino asit karışımı	3.000
Lipit karışımı*	6.000
Vitamin karışımı**	9.000
İnorganik tuz karışımı	0.075
RNA	0.075
Sükroz	14.000
2N KOH***	2.500
Saf su	Toplam hacim 100 ml oluncaya kadar

\* : Besine 6 ml çözelti halinde katıldı.

\*\* : Besine 9 ml çözelti halinde katıldı.

\*\*\* : Besine 9 ml çözelti halinde katıldı.

0.5048 g  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ; 10.5280 g  $K_2HPO_4$ ; 1.4548 g  $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ ; 3.6920 g  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ; 0.0112 g  $MnSO_4 \cdot H_2O$ ; 0.2000 g  $ZnCl_2$  bir beher içine alınarak 100 ml sıcak su ilavesiyle tuzların çözülmesi sağlanmıştır. Hazırlanan bu çözelti 150 °C'deki etüvde karışımın ağırlığı sabitleninceye kadar bekletilmiştir. Bu süre sonunda suyu tamamen uzaklaştırılmış tuz karışımı porselen bir havana konularak dövülmüş ve karışım homojen bir hale getirilmiştir. Hazırlanan karışım renkli bir şişeye konularak ağız sıkıca kapatılarak kullanılıncaya kadar nem içermeyen bir ortamda saklanmıştır. 100 ml'lik stok besine bu karışımdan 0.075 g katılmıştır.

**Lipit karışımı:** Karışımda yer alan yağ asitleri ve kolesterol miktarları gram olarak şöyledir: Kolesterol 0.840; linolenik asit 0.1546; linoleik asit 0.0486; oleik asit 0.0641; palmitik asit 0.0041; stearik asit 0.0014. Yağ asitleri ve kolesterol verilen miktarlarda bir homojenizatör tüpüne konmuş, üzerine 2.16 g Tween 80 ve 32.0 ml sıcak su konulduktan sonra UltraTurrax T25 marka homojenizatörde 22.000 devirde 5 dakika süreyle karıştırılmıştır. Hazırlanan bu karışım bir erlenmayere konularak ağız sıkıca kapatılmış şekilde -10 °C'de kullanılıncaya kadar saklanmıştır. Kontrol besine katılmadan önce 40 °C'deki su banyosuna konmuş ve tekrar sıvı hale gelmesi sağlanmıştır. Sıvılaştıran karışım manyetik karıştırıcıda iki dakika süreyle karıştırılarak homojenliği sağlanmıştır. 100 ml'lik stok besine bu emülsiyondan 6.0 ml katılmıştır.

**Vitamin çözeltisi:** Stok çözeltinin içerdiği vitaminler gram olarak şöyledir: Askorbik asit 0.1120; biotin 0.0004; Ca-pantotenat 0.0296; folik asit 0.0012; inositol 0.1800; kolin klorür 2.6000; nikotinik asit 0.0600; pridoksin-HCl 0.0030;

riboflavin 0.0140; tiamin-HCl 0.0016. Verilen miktarlarda tartılan vitaminler bir erlenmayer içine konulmuş üzerine 90.0 ml saf su ilave edilerek manyetik karıştırıcıda karıştırılarak çözümleri sağlanmıştır. Çözelti suda çözünen vitaminleri içermektedir. Çözeltinin pH'sının 6.5 olması için 0.850 ml 2N  $K_2HPO_4$  ilave edilmiştir. Hazırlanan stok çözelti kullanılıncaya kadar -10 °C'de saklanmıştır. Kontrol besine katılmadan önce çözeltinin oda sıcaklığına gelmesi sağlanmış ve manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra 100 ml besine 9.0 ml olarak katılmıştır.

Belirtilen stok çözeltiler hazırlandıktan sonra kontrol besinin hazırlanması şu şekildedir: Öncelikle Çizelge 1.'de belirtilen miktarlardaki L- amino asit karışımı, inorganik tuz karışımı, RNA ve sükroz bir beher konulmuş ve üzerine toplam su miktarının yarısı kadar 80 °C'de saf su eklenerek bu maddelerin çözünmesi sağlanmıştır. Çözelti soğuduktan sonra üzerine lipit karışımı, vitamin karışımı ve pH'yı 6.5'e ayarlamak için 2N KOH eklenmiştir. Daha sonra elde edilen çözeltinin hacmi, saf su ilavesiyle 100 ml'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan bu besin bir erlenmayer içinde ağız sıkıca kapatılarak buzdolabında saklanmıştır.

### 2.2.2. Kurşun nitrat içeren çözeltilerin besin serilerine uygulanması

Deneylerin birinci serisi için ağır metal grubu elementlerinden olan kurşun, sentetik besine kurşun nitrat çözeltisi şeklinde katılmıştır. Her derişim için belirlenen kurşun nitrat çözeltisi hazırlanan sentetik besinlere her deney grubu için artan derişimlerde (%0.05, %0.1, %0.5, %1.0 ve %5.0 mg olmak üzere) stok kurşun nitrat çözeltisinden alınarak ilave edilmiştir.

### 2.2.3. Kadmiyum klorür içeren çözeltilerin besin serilerine uygulanması

Deneylerin ikinci serisi için yine ağır metal grubu elementlerinden kadmiyum, sentetik besine kadmiyum klorür çözeltisi şeklinde katılmıştır. Deney grupları için belirlenen derişimlerde (%0.05, %0.1, %0.5, %1.0 ve %5.0 mg olmak üzere) stok kadmiyum klorür çözeltisi sentetik besinlere ilave edilmiştir.

### 2.3. Deney Böceklerinin Beslenmesi

Deneylerde pupalardan yeni çıkmış, henüz besin almamış ve çiftleşmemiş *P. turionellae* ergin dişileri kullanılmıştır. Her deney serisinin her grubu için bu dişilerden 4 birey alınarak 500 ml lik beher konulmuş ve ağız çift kat tülbentle kapatılmıştır.

Hazırlanan birinci seri için kontrol ve deney grubu olmak üzere iki deney seti hazırlanmıştır. Kontrol grubu, kontrol

besinle; deney grubu ise farklı kurşun nitrat derişimleri içeren sentetik besinle beslenmiştir. İkinci seri için de birinci seride olduğu gibi kontrol ve deney grubu olmak üzere iki deney seti hazırlanmıştır. Kontrol grubu yine kontrol besinle; deney grubu ise farklı kadmiyum klorür içeren sentetik besinle beslenmiştir. Böceklerin beslenmesi sırasında, hazırlanan besinler 3cm x 3cm boyutundaki alüminyum kağıt parçaları üzerine eşit miktarlarda damlatılarak deney beherlerinin içine yerleştirilmiştir. Beherlerin içine bırakılan besin 1 saat süre ile tutularak böceklerin beslenmesi sağlanmıştır. Deney periyodu süresince bu işlem her gün aynı saatte tekrarlanmıştır. Böcek dışkıları ile kirlenen beherler kontaminasyonu engellemek amacıyla belirli periyotlarda temizlenmiştir.

#### 2.4. Verilerin Elde Edilmesi ve Değerlendirilmesi

Çalışmanın amacına yönelik olarak *P. turionellae* dişilerinden yumurta elde edilmesi için stok kültürden elde edilen böceklerin deney ortamına alınmasından sonraki 10. günden itibaren parazitlenme işlemine başlanmıştır ve her üç günde bir bu işlem tekrarlanarak 31. güne kadar devam edilmiştir.

Parazitlenme sırasında *G. mellonella* pupaları, deney böceklerinin yumurta bırakmalarını sağlamak, aynı zamanda bu pupaların böcekler tarafından yenmesini engellemek amacıyla iki kat kafes teli ile sarılmıştır. Tel kafesler 25 cm<sup>2</sup> alana sahip iki kat kafes teli parçasının ortasına pupanın yerleştirilebileceği bir bombenin oluşturulması ile hazırlanmıştır. Parazitlenme sırasında hazırlanan bu bombeye *G. mellonella* pupaları yerleştirilmiş ve açıkta kalan alt kısım alüminyum kağıt parçası ile kapatılmıştır. Bu şekilde deney beherlerine bırakılan pupaya, dış etkilerden zarar görmeden, böceklerin ovipozitörlerini kullanarak yumurtalarını bırakmaları sağlanmıştır.

Deney serilerinin her tekrarında *P. turionellae* dişileri bireylerinin yumurtalarını bırakması için tel kafesle çevrilmiş 2 adet *G. mellonella* pupası 1 saat süreyle deney beherlerine bırakılmış, bu süre sonunda pupalar beherlerden alınmıştır. Tel kafeslerden çıkartılan pupalar embriyonik gelişimleri için laboratuvar koşullarında 24 saat süreyle ayrı ayrı petri kaplarında bekletilmiştir. Bu süre sonunda pupalar disekte edilerek yumurta sayımı yapılmıştır.

Diseksiyon işlemi sırasında bir petri kabı içinde % 0.08'lik NaCl çözeltisinde *P. turionellae* tarafından parazitlenmiş *G. mellonella* pupaları ince uçlu bir pens yardımıyla parçalanmıştır. Açığa çıkarılan yumurtalar yumuşak ince uçlu bir fırça yardımıyla yine içinde %0.08'lik NaCl çözeltisi bulunan saat camlarına alınmıştır. Burada 24 saat süreyle

bekletilen yumurtalar süre sonunda binoküler mikroskop altında incelenmiş ve bırakılan toplam yumurta ve açılan yumurta sayısı belirlenmiştir. Her bir deney serisinin her tekrarında aynı işlem uygulanmış her tekrarda bir beherde konan iki pupa üzerinde yapılan parazitlenme işleminde bırakılan toplam yumurta sayısı aynı beherdeki dişi böcek sayısına bölünerek dişi birey başına düşen ortalama yumurta sayısı hesaplanmıştır. Bırakılan yumurtaların açılım oranları ise açılan yumurtaların bırakılan toplam yumurta sayısına göre yüzdelerinin hesaplanmasıyla elde edilmiştir.

Bütün deneyler üçer kez tekrarlanmış ve elde edilen veriler çizelgeler halinde sunulmuştur. Her deney serisi için besinlerin etkileri deney periyodu boyunca bir dişi birey tarafından bırakılan ortalama yumurta sayısı (yumurta üretimi) ve yine aynı periyot süresince dişi bireyin bıraktığı yumurtaların açılma yüzdesi (yumurta açılma oranı) hem o serideki kontrol grubu verileri ile hem de kendi aralarında karşılaştırılmak suretiyle değerlendirildi.

Verilerin analizinde SPSS 21.0 paket program kullanılmış ve Varyans Analizi ile Student-Newman Keul's Test (SNK)" testleri uygulanmıştır (Sokal ve Rohlf, 1969).

### 3. Bulgular

Sunulan çalışmada farklı Kurşun nitrat ve Kadmiyum klorür'ün *Pimpla turionellae* ergin dişisinin deney periyodu boyunca 10. ve 31. günler arasında bıraktığı toplam yumurta sayısı ve açılımı üzerine etkileri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Yumurta eldesinin gerçekleştirildiği periyot boyunca (10. ve 31. günler arası) kurşun nitrat içeren besinlerle beslenen dişilerin bıraktığı yumurta sayısı incelendiğinde %0.50, %1.00 ve %5.00 derişimleri önemli bir etkide bulunmamış ancak %0.05 ve %0.10 derişimleri bırakılan toplam yumurta sayısını önemli derecede düşürmüştür .

Aynı kurşun nitrat derişimlerinin deney periyodu boyunca bırakılan toplam yumurtalarının açılım yüzdesine bakıldığında, kontrol besinle beslenen dişilerin bıraktığı toplam yumurtaların açılım yüzdesi ile kurşun nitratlı besinlerle beslenen dişilerin toplam yumurtalarının açılım yüzdesi arasında istatistiksel olarak önemli bir fark görülmemiştir .

Yumurta eldesinin başladığı 10. günden 31. güne kadar denenen kadmiyum klorür derişimlerinden %0.05, %0.10 ve %5.00'lik derişimler bırakılan toplam yumurta sayısı üzerinde kontrole göre önemli bir etkide bulunmamış bununla birlikte %0.50 ve %1.00'lik derişimler toplam yumurta sayısını önemli derecede düşürmüştür

**Çizelge 2.** Kurşun nitrat ve Kadmiyum klorür'ün *P. turionellae* ergin dişisinin bıraktığı toplam yumurta sayısına ve açılım yüzdesine etkisi.

Kurşun Nitrat (% mg)	Toplam Yumurta Sayısı (Ort*±S.H**)**	Toplam Yumurta Açılımı (%) (Ort*±S.H**)**
0.00 §	48.90 ± 0.49 a	76.46 ± 1.76 a
0.05	33.98 ± 0.39 b	79.54 ± 1.42 a
0.10	36.07 ± 0.36 b	81.73 ± 2.91 a
0.50	53.64 ± 0.43 a	82.32 ± 2.67 a
1.00	50.02 ± 0.19 a	78.41 ± 2.44 a
5.00	50.40 ± 0.32 a	78.89 ± 4.06 a
Kadmiyum-Klorür (% mg)	Toplam Yumurta Sayısı (Ort*±S.H**)**	Toplam Yumurta Açılımı (%) (Ort*±S.H**)**
0.00 §	48.90 ± 0.49 a	76.4 ± 1.76 a
0.05	48.42 ± 0.42 a	85.98 ± 3.15 b
0.10	40.14 ± 0.43 a	71.43 ± 2.38 a
0.50	16.93 ± 0.37 b	78.28 ± 3.78 a
1.00	2.55 ± 0.53 c	58.33 ± 0.03 c
5.00	55.51 ± 0.21 a	71.49 ± 2.01 a

\* : Üç tekrarın ortalaması

\*\* : Standart hata

\*\*\* : Aynı sütunda aynı harfi içeren değerler birbirinden farklı değildir. p<0.05

§ : Kontrol

Aynı kadmiyum klorür derişimlerinden %0.05'lik derişim kontrole göre istatistiksel olarak toplam yumurta açılım yüzdesini önemli derecede arttırmış; buna rağmen %1.00 lik derişimde ise toplam yumurta açılım yüzdesinde önemli ölçüde bir düşüş gözlenmiştir. Denenen diğer derişimler toplam yumurta açılım yüzdesinde herhangi bir azalış veya artışa neden olmamıştır

#### 4. Tartışma

Biyolojik kontrol ajanı olarak kullanılan *P. turionellae*'nin devamlılığı diğer endoparazitik hymenopter türlerinin çoğunda olduğu gibi dişi böceğin konak pupaya bıraktığı yumurtalardan ilk açılanın erginleşmesiyle gerçekleşir. Bu nedenle biyolojik mücadelede kullanılmak üzere kitle halinde üretimi amaçlanan bu grupların istenilen seviyede avantaj sağlayabilmesi için verimli dişi birey sayısının arttırılması bununla birlikte her gelişme düzeyinde bireylerin çevre şartlarına karşı duyarlılık sınırlarının iyi bilinmesi gerekmektedir.

Ekosistemde bulunan toksik etkili metallerin hem dinamik yapılarının hem de böcek türleri üzerine etkilerinin metal

konsantrasyonlarına göre tam olarak anlaşılması oldukça önem taşımaktadır. Çünkü toksik etkili maddelerin böcekler tarafından alınması sonucu etkilenen metabolik süreçlerin, hem hemolenf içeriğinde hem de sentez olaylarında önemli değişimlere neden olması, ATP ve ADP'nin fosfat gruplarıyla olan reaksiyonları, hücre membranlarının zarar görmesi, sülfhidril gruplarıyla olan reaksiyonları, esas iyonların yerine geçmeleri ve esas metabolitlerle rekabet etmeleri yanı sıra üremeyi de direkt etkilediği sayılabilir (Gupta 2013, Suganya vd. 2016, Gregory 1997).

Besinsel kontaminasyon yoluyla böceklere taşınabilen ağır metallerin böcek türlerinde bağışıklık sistemini geliştirip geliştirmediği (Ooik vd. 2007), bu metallerin hangi konsantrasyonlarda hangi etkilere neden olduğu belirlenmelidir. Bu amaçla, sunulan bu çalışmada kurşun nitrat ve kadmiyum klorürün farklı derişimleri her bir deney grubuna ayrı ayrı olarak uygulanmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre sentetik besine ilave edilen kurşun nitratın %0.05 ve %0.10 derişimlerinin uygulandığı gruplarda ergin dişinin bıraktığı toplam yumurta sayısının azalması, aynı derişimlerde bırakılan yumurtaların

açılım yüzdesinin kontrolden farklı olmaması; bununla birlikte uygulanan diğer derişimlerde ise ne toplam yumurta üretiminde ne de yumurta açılım yüzdelisinde herhangi bir etkinin görülmemesi kurşun nitratin düşük derişimlerinin sadece yumurta üretimi üzerinde negatif yönde etkili olduğu kanısını doğurmaktadır. Ağır metallerin, hücre nükleusu içine membran üzerindeki  $Ca^{2+}$  kanallarından girişıyle genotoksik etkiye buldukları (Lin vd. 1993) ve nükleusa giren bu metallerin DNA yapısındaki fosfat grubunun yerine geçerek bağlanması yoluyla hem DNA sentezini (Uysal ve Bahçeci, 1996), hem de oksidatif fosforilasyonu inhibe ettikleri (Moura vd. 2000) bilinmektedir. Kurşun nitratin düşük derişimlerde bırakılan yumurta sayısını azaltması durumu da büyük bir olasılıkla benzer bir mekanizma ile gerçekleşmektedir. Bununla birlikte besin zincirinden kuvvetle asimile edilmesine rağmen kurşunun diğer metallere oranla canlı bünyesinde daha az birikim göstermesi (Kazimirova ve Ortel, 2000) deney periyodunun ilerleyen günlerinde bırakılan yumurta sayısının kurşun nitrat derişimlerinden etkilenmemesi durumunu açıklamaya destek olabilir.

Kadmiyumun değişen konsantrasyonlarında *Hydropsyche pelucidula* larvalarında anal papilla yapısını etkilediği (Vuori ve Kukkonen, 1996); *Acheta domesticus*'da solunum metabolizması verimliliği ve gelişme periyodunda enerji düzeylerini etkilediği (Migula, 1989, Migula vd. 1989), nöroendokrin sistem aktivitelerinde değişikliklere neden olduğu (Ivanovic ve Jankoviç-Hladni, 1991), hormon reseptörlerinin sentezini ve fonksiyonel özelliklerini etkilediği (Cervera vd. 2006, Planello vd. 2010) bilinmektedir. Sunulan bu çalışmadan elde edilen verilere göre ise kadmiyum, ergin dişi bireyin bıraktığı toplam yumurta sayısını önemli derecede etkilemiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre kadmiyum klorürün %0.05 ve %0.10 derişimlerinin uygulandığı deney gruplarında *P. turionellae* L. ergin dişisinin bıraktığı toplam yumurta sayısının metalden etkilenmemesi, %0.50 ve %1.00 derişimlerde yumurta sayısının önemli ölçüde azalması, buna rağmen %5.00 olan en yüksek derişimde ise yumurta sayısının kontrol değerlerinden bile fazla bir artış göstermesi dikkate değer bir bulgudur. Düşük kadmiyum düzeylerine maruz bırakılan *Chironomus riparius* larvalarının gelişim hızında kontrole göre artış göstermesi (Timmermans vd. 1992), sunulan çalışmada gözlenen düşük kadmiyum düzeylerinde yumurta sayısındaki artışı destekleyen bir bulgudur. Bununla birlikte yüksek kadmiyum düzeylerinde yine *C. riparius* larvalarının gelişiminin azalması (Pascoe

vd. 1989) çalışma sonucunda elde edilen kadmiyum klorür etkisindeki ergin *P. turionellae* dişisinin yumurta sayısının azalmasına paralellik göstermektedir.

Kurşun ve bakırda olduğu gibi organik maddelere bağlanarak bağırsak yoluyla vücuda alınmasının yanı sıra moleküler yapısının değiştirilememesinin sonuçları kadmiyumun atılımdan çok depolandığını (Crawford vd. 1995) göstermektedir. Bu olay kadmiyumun metallothionein gibi bağlayıcı enzimlerin üretimini uyarmasının bir sonucu olarak gerçekleşebilir veya kadmiyumun sindirimi için gerekli etkili olmayan bir sistemin başlıca sonuçlarından biri olarak karşımıza çıkabilir. Buna dayanarak böceğin bağırsağındaki kadmiyum bağlayıcı metallothioneinde de bir artışın olduğunu söyleyebiliriz.

Methallothionein yaygın bir indikatör protein olarak bilinmekte olup özellikle kadmiyumun metallothioneindeki -SH (sülfhidril) gruplarına bağlanma yeteneğine sahip olduğu da ortaya çıkmıştır (Hensbergen vd. 2000).

Böceklerde metallothionein hakkında çok az bilgi mevcuttur aynı zamanda bu konuda çalışılan *Drosophila*'da iki tip metallothionein geninin (Mtn ve Mto) bağırsakta tespit edilmiş olması (Mokdad vd. 1987) bu bağlayıcı proteinin tüm böcek türlerinde de yaygın olarak bulunabileceği ihtimalini güçlendirmektedir.

Aslında biyolojik sınırlarda birikmiş mevcut ağır metaller proteinlerle veya asidik mukopolisakaritlerle birleşmiş olabildiği gibi (Wada ve Fujinuki, 1976), artan metal derişimleri etkisiyle böceklerde hem protein sentezini hem de üreme sistemindeki yumurta üretimini azaltması ve inhibe etmesi (Chinni ve Yallapragada. 2002, Bream. 2003, Telang vd. 2002, Burmester 2001) muhtemelen bu tür metabolik olumsuzluklar nedeniyle ortaya çıkan fizyolojik gelişimlerin etkilenmesinden kaynaklanmaktadır. Buna rağmen uygulanan en yüksek kadmiyum klorür derişiminde *P. turionellae* L. ergin dişisinin bıraktığı yumurta sayısının kontrol değerlerinin oldukça üzerine çıkması bu derişimde metalin yumurta üretimi üzerine stimüle edici bir etki yaptığını göstermektedir.

Artan metal derişimlerinin *P. turionellae* ergin dişisinin bıraktığı toplam yumurta sayısı üzerine etkileri böyleyken erginin bıraktığı bu yumurtaların açılım yüzde oranları ekstrem sonuçlar göstermemektedir. Yumurta sayısının en düşük gözleendiği derişimlerde bile yumurtaların açılım yüzdesinin kontrole göre önemli ölçüde yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. Kadmiyum klorür etkisindeki deney gruplarından elde edilen veriler dikkate alındığında

günlere göre bırakılan yumurta sayısı önemli farklılıklar göstermektedir. %0.50 oranında 31. günde, %1.00 da 16. günden itibaren yumurta üretiminin tümüyle durması kadmiyumun bu yüzdelik konsantrasyonlarda özellikle yumurta üretimi üzerinde önemli ölçüde inhibe edici bir etki gösterdiği, buna rağmen yumurta açılımında önemli oranlarda azalmaların görülmemesi hatta bazı yüksek derişimlerde artışların gözlenmesi kadmiyumun yumurta üretimini azaltmasına rağmen bırakılan yumurtaya aktarılmadığı için açılımda etkili olmadığı fikrini çağrıştırmaktadır.

Çalışma sonucunda ergin *P. turionellae* dışısının yumurta üretimi üzerinde kurşun nitratin düşük derişimlerinde, kadmiyumun ise yüksek derişimlerinde negatif yönde etkili olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak %5.00 kadmiyum derişiminin ergin dişi bireyin yumurta üretimini stimüle etmiş olabileceği konusu dikkate değer bir ayrıntıdır. Uygulanan ağır metallere kurşun nitrat ve kadmiyum klorürün ergin *P. turionellae* dışısının bıraktığı yumurtaların açılım yüzdesi üzerinde önemli ölçülerde etkide bulunmaması, bu durumun ergin bireyin vücudunda biriken metallere yumurtaya transferinin gerçekleşmemesi ile ilgili olarak açıklanabilir.

## 5. Teşekkür

Çalışmalarımnda fikir ve önerileri ile her zaman desteğini gördüğüm merhum Prof. Dr. Şevki Yazgan hocamı minnetle anıyorum. Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No: FBE2001YL164).

## 6. Kaynaklar

- Bream, AS. 2003.** Laboratory evaluation of heavy metals stress on certain biochemical parameters of the aquatic insect, *Sphaerodema urinator* Duf. (Hemiptera: Belostomatidae). *Comm. Agr. Appl. Biol. Sci.* 68 (4 Pt A): 291-297.
- Burmester, T. 2001.** Molecular evolution of the arthropod hemocyanin superfamily. *Mol. Biol. Evol.* 18 (2): 184-195.
- Cervera, A., Maymo, AC., Martinez-Pardo, R., Garcera, MD. 2006.** Vitellogenin polypeptide levels in one susceptible and one cadmium-resistant strain of *Oncopeltus fasciatus* (Heteroptera: Lygaeidae) and its role in cadmium resistance. *J. Insect Physiol.* 52: 158-168. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2005.10.001>
- Chinni, S., Yallapragada, PR. 2002.** Energy levels of *Panaeus inducus* postlarvac on exposure to lead. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 52: 173-179. <https://doi.org/10.1006/eesa.2002.2171>

- Chouhan, S., Verma, S.C., Thakur. M. 2017.** Effect of cadmium on biology of tobacco caterpillar *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera:Noctuidae). *Nat. Environ. Pollut. Technol.*16(3): 883-888.
- Crawford, LA., Hodkinson, ID., Lepp, NW. 1995.** Effect of elevated host-plant copper and cadmium on the performance of the aphid *Aphis fabae* (Homoptera; Aphididae). *J. Appl. Ecol.*, 32: 528-535. Doi: 10.2307/2404650
- Emre, İ. 1988.** Meridik bir besinin *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae) ergin dişilerinin yumurta verimine etkisi. *Doğa Tu. Biyol.*, 12(2): 101-105.
- Florea, AM., Büsselberg, D. 2006 .** Occurrence, use and potential toxic effects of metals and metal compounds. *Biometals*, 19: 419-427. <https://doi.org/10.1007/s10534-005-4451-x>
- Gregory. JL. 1997.** The effect of cadmium on cytosolic free calcium,protein kinase and collagen synthesis in rat osteosarcoma (Ros 17/2.8): cells. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 143: 189-195. <https://doi.org/10.1006/taap.1996.8060>
- Gupta, V. 2013.** Mammalian feces as bio-indicator of heavy metal contamination in Bikaner Zoological Garden, Rajasthan, India. *Res. J. Animal, Veterinary and Fishery Sci.*, 1(5): 10-15.
- Ilijin, L., Peric-Mataruga, V., Radojicic, R., Lazarcvic, J., Nenadovic, V., Vlahovic, M., Mrdakovic, M. 2010.** Effect of cadmium on protocerebral neurosecretory neurons and fitness components in *Lymantria dispar* L. *Folia Biologica* (Krakow) 58: 91-99. [https://doi.org/10.3409/fb58\\_1-2.91-99](https://doi.org/10.3409/fb58_1-2.91-99)
- Ivanovic, J., Jankovic-Hladni, M. 1991.** Hormones and metabolism in insect stress. CRC Press. Boca Raton.
- Hensbergen, PJ., Van Velzen-Martin, JM., Nugroho, RA., Donker, MH.,Van Straalen, NM. 2000.** Metallothionein-bound cadmium in the gut of the insect *Orchesella cincta* (Collembola) in relation to dietary cadmium exposure. *Comp. Biochem. and Physiol. Part C*, 125: 17-24. [https://doi.org/10.1016/S0742-8413\(99\)00087-0](https://doi.org/10.1016/S0742-8413(99)00087-0)
- Jannsen, MPM., Joosse, ENG., Van Straalen, NM. 1990.** Seasonal variation in concentration of cadmium in litter arthropods from a metal contaminated Site. *Pedobiologia*, 34 (4), 257-267.
- Jensen, A., Bro-Rasmussen, F. 1992.** Environmental cadmium in Europe. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 125: 101-81. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2890-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2890-5_3)
- Kazimirova, M., Ortel, J. 2000.** Metal accumulation by *Ceratitidis capitata* (Diptera) and transfer to the parasitic Wasp *Coptera occidentalis* (Hymenoptera). *Environ. Toxicol. and Chem.* 19(7): 1822-1829. <https://doi.org/10.1002/etc.5620190716>
- Lerda, D. 1992.** The effect of lead on *Allium cepa* L. *Mutat. Res.* 281 (2): 89-92. [https://doi.org/10.1016/0165-7992\(92\)90041-F](https://doi.org/10.1016/0165-7992(92)90041-F)

- Lin, RH., Wu, LJ., Lee, CH., Lin-Shiau, SY. 1993.** Cytogenetic toxicity of uranyl nitrate chinese hamster ovary cells. *Mutat. Res.* 319: 197-203. [https://doi.org/10.1016/0165-1218\(93\)90079-S](https://doi.org/10.1016/0165-1218(93)90079-S)
- Linde, A. R., Arribas, P., Sanchez-Galan, S., Garcia-Vazquez, F. 1996.** Eel (*Anguilla anguilla*) and brown trout (*Salma trutta*) target species to assess the biological impact of trace metal pollution in freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 31: 297-302. <https://doi.org/10.1007/BF00212668>
- Lijun, L., Xucmcia, L., Yaping, G., Enbo, M. 2005.** Activity of enyzmes of the antioxidative system in cadmium-treated *Oxya chinensis* (Orthoptera: Acridoidae). *Environ. toxicol. Pharmacol.* 20: 412-416. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2005.04.001>
- Mclaughlin, MJ., Parker, DR., Clarke, JM. 1999.** Metals and micronutrients-food safety issues. *Field Crops Res.* 60: 143-163. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00137-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00137-3)
- Mclaughlin, MJ., Tiller, KG., Naidu, R., Stevens, DG., 1996.** Review: The behaviour and environmental impact of contaminants in fertilizers. *Aust. J. Soil. Res.* 34: 1-54. <https://doi.org/10.1071/SR9960001>
- McMurray, CT., Tainer, JA. 2003.** Cancer, cadmium and genome integrity. *Nat. Genet* 34: 239-241. <https://doi.org/10.1038/ng0703-239>
- Migula, P. 1989.** Combined and separate effects of cadmium, lead and zinc on respiratory metabolism during the last larval stage of the house cricket, *Acheta domesticus*. *Biologia* (Bratislava), 44 (6): 513-521.
- Migula, P., Kedziorzky, A., Makoneczny, M., Kafel, A. 1989.** Combined and separate effects of heavy metals on energy budget and metal balances in *Acheta domesticus*. *Uttar Pradesh. J. Zool.* 9(2): 140-149.
- Mikhaililova, MV., Littlefield, NA., Hass, BS., Poirier, LA., Chou, MW. 1997.** Cadmium-induced 8-hydroxydeoxyguanosine formation, DNA strand breaks and antioxidant enzyme activities in lymphoblastoid cells. *Cancer Lett.*, 115: 141-148. [https://doi.org/10.1016/S0304-3835\(97\)04720-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3835(97)04720-4)
- Moura, G., Vilarinho, L., Machado, J. 2000.** The action of Cd, Cu, Cr, Zn and Pb on fluid composition of *Anodonta cygnea* (L.): Organic Components. *Com. Biochem. and Physiol.* Part B, 127. [https://doi.org/10.1016/S0305-0491\(00\)00241-8](https://doi.org/10.1016/S0305-0491(00)00241-8)
- Mokdad, R., Debec, A., Wegnez, M. 1987.** Metallothionein genes in *Drosophila melanogaster* constitute a dual system. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 84: 2658-2662. <https://doi.org/10.1073/pnas.84.9.2658>
- Nordenson, I., Nordstom, S., Sweins, A., Beckman, L. 1982.** Chromosomal aberrations in lead-exposed Workers. *Hereditas*, 96: 265-268. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1982.tb00857.x>
- Ooik, VT., Rantala, MJ., Saloniemi, I. 2007.** Diet-mediated effects of heavy metal pollution on growth and immune response in the geometrid moth *Epirrita autumnata*. *Environ. Pollut.*, 145: 348-354. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.03.008>
- Ortel, J. 1989.** Effects of lead and cadmium on oxygen consumption and life expectancy of the pupal parasitoid *Pimpla turionellae*. *Entomol. Exp. Appl.* 52(1): 83-88. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1989.tb01251.x>
- Ortel, J. 1991.** Effects of lead and cadmium on chemical composition and total water content of the pupal parasitoid, *Pimpla turionellae*. *Entomol. Exp. Appl.* 59(1): 93-100. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1991.tb01491.x>
- Ortel, J. 1995a.** Accumulation of Cd and Pb in successive stages of *Galleria mellonella* and metal transfer to the pupal parasitoid *Pimpla turionellae*. *Entomol. Exp. Appl.* 77(1): 89-97. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1995.tb01989.x>
- Pandey, R., Dwidevi, MK., Singh, P.K., Patel, B., Pandey, S., Patel, B., Patel, A., Singh, B. 2016.** Effluences of heavy metals, way of exposure and bio-toxic impacts: an update. *J. Chem. & Cheml. Sci.* 6(5): 458-475.
- Pascoe, D., Williams, KA., Green, DWJ. 1989.** Choronic toxicity of cadmium to *Chironomus riparius* meigen-effects upon larval development and adult emergence. *Hydrobiologia* 175: 109-115. <https://doi.org/10.1007/BF00765121>
- Planello, R., Martinez-Guitarte, JL., Morcillo, G. 2010.** Effect of acute exposure to cadmium on the expression of heat-shock and hormone – nuclear receptor genes in the aquatic midge *Chironomus riparius*. *Sci. Total Environ.* 408: 1598-1603. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.01.004>
- Sharma, GP., Sopti, RC., Chaudiry, A., Ahluwalia, KK. 1988.** Genotoxicity of two heavy metal compounds-lead acetate mercuric chloride in the Mosquito, *Anopheles stephensi* Liston (Culicidae: Diptera). *Cytologia.* 53(2): 263-267. <https://doi.org/10.1508/cytologia.53.263>
- Sokal, RR., Rohlf, JF. 1969.** Biometry. W.H. Freeman and Company. San Fransisco, pp 776.
- Suganya, M., Karrthi, S., Shivakumar, MS. 2016.** Effect of Cd and lead exposure on tissue spesific antioxidant response in *spodoptera litura*. *Free Radicals & Antioxidants*, 6(1): 90-100. Doi: 10.5530/fra.2016.1.11
- Telang, A., Buck, NA., Wheeler, DE. 2002.** Response of storage protein levels to variation in dietary protein levels. *J. Insect Physiol.* 48(11): 1021-1029. [https://doi.org/10.1016/S0022-1910\(02\)00190-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1910(02)00190-7)
- Timmermans, KR., Peeters, W., Tonkes, M. 1992.** Cadmium, zinc, lead and copper in *Chironomus riparius* (Meigen) larvae (Diptera, Chironomidae): uptake and effects. *Hydrobiologia*, 241: 119-134. Doi:10.1007/BF00008264



- Türkan, İ. 1995.** Comparison of moss and bark samples as biomonitors of heavy metals in a highly industrialised area in İzmir, Turkey. *Sci. Total Environ.* 166: 61-67. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04518-6](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04518-6)
- Uysal, H., Bahçeci, Z. 1996.** Kurşun nitrat'ın *Drosophila melanogaster*'in üçüncü instar larvalarının tükrük bezi politen kromozomları üzerine etkileri. *Tr. J. of Biology*, 20: 199-205.
- Vuori, KM., Kukkonen, J. 1996.** Metal concentrations in *Hydropsyche pellucidula* larvae (Trichoptera, Hydropsychidae) in relation to the anal papillae abnormalities and age of exocuticle. *Wat. Res.* 30(10): 2265-2272. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(96\)00109-1](https://doi.org/10.1016/0043-1354(96)00109-1)
- Wada, K., Fujinuki, T. 1976.** Biomineralization in bivalvae molluscs with emphasis on the chemical composition of the extrapallial fluid. In: watabe, N., Wilbur, K. M. (Eds.), The mechanisms of mineralization in the invertebrates and plants. The University of South Carolina Press, Columbia, 175-190.
- Winder, C., Bonin, T. 1993.** Genotoxicity of lead. *Mut. Res.* 285(1): 117-124. [https://doi.org/10.1016/0027-5107\(93\)90059-O](https://doi.org/10.1016/0027-5107(93)90059-O)
- Yazgan, Ş. 1981.** A Meridic diet and quantitative effect of tween 80, fatty acid mixtures and inorganic salts on development and survival of the endoparasitoid *Pimpla turionellae* L. *Z ang Ent.* 91(15): 433-441. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1981.tb04501.x>



## Determining Gaze Information from Steady-State Visually-Evoked Potentials

### *Durağan Durum Görsel Uyarın Potansiyellerinden Bakış Bilgilerini Çıkarma*

Ebru Sayılğan<sup>1\*</sup> , Yılmaz Kemal Yüce<sup>2</sup> , Yalcın İşler<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Izmir Katip Celebi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Biomedical Technologies, Cigli, Izmir, Turkey

<sup>2</sup>Alanya Alaaddin Keykubat University, Rafet Kayis Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Alanya, Antalya, Turkey

<sup>3</sup>Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Biomedical Engineering, Cigli, Izmir, Turkey

### Abstract

Brain-Computer Interface (BCI) is a communication system that enables individuals who lack control and use of their existing muscular and nervous systems to interact with the outside world because of various reasons. A BCI enables its user to communicate with some electronic devices by processing signals generated during brain activities. This study attempts to detect and collect gaze data within Electroencephalogram (EEG) signals through classification. To this purpose, three datasets comprised of EEG signals recorded by researchers from the Autonomous University were adopted. The EEG signals in these datasets were collected in a setting where subjects' gaze into five boxes shown on a computer screen was recognized through Steady-State Visually Evoked Potential based BCI. The classification was performed using algorithms of Naive Bayes, Extreme Learning Machine, and Support Vector Machines. Three feature sets; Autoregressive, Hjorth, and Power Spectral Density, were extracted from EEG signals. As a result, using Autoregressive features, classifiers performed between 45.67% and 78.34%, whereas for Hjorth their classification performance was within 43.34-75.25%, and finally, by using Power Spectral Density their classification performance was between 57.36% and 83.42%. Furthermore, classifier performances using Naive Bayes varied between 52.23% and 79.15% for Naive Bayes, 56.32-83.42% for Extreme Learning Machine, and 43.34-72.27% for Support Vector Machines by regarding classification algorithms. Among achieved accuracy performances, the best accuracy is 83.42%, achieved by the Power Spectral Density features and Extreme Learning Machine algorithm pair.

**Keywords:** Brain-computer interface, Classification, Electroencephalogram, Steady-state visual-evoked potential


### Öz


Beyin-Bilgisayar Arayüzü (BBA), mevcut kas ve sinir sistemlerini çeşitli nedenlerle kontrol edemeyen bireylerin dış dünya ile etkileşime girmelerini sağlayan bir iletişim sistemidir. Temel olarak, bir BBA, kullanıcının beyin aktiviteleri sırasında üretilen sinyalleri işleyerek bazı elektronik cihazlarla iletişim kurmasını sağlar. Bu çalışma, sınıflandırma yoluyla Elektroensefalogram (EEG) sinyalleri içindeki sabit bakış verilerini belirlemeye ve toplamaya çalışmaktadır. Bu amaçla Autonomous Üniversitesi'ndeki araştırmacılar tarafından kaydedilen EEG sinyallerinden oluşan üç veri seti incelenmiştir. Bu veri kümelerindeki EEG sinyalleri, deneklerin bilgisayar ekranında gösterilen beş kutuya bakışlarının Durağan Durum Görsel Uyarılmış Potansiyel bazı BBA ile tanındığı bir ortamda toplanmıştır. Naive Bayes, Aşırı Öğrenme Makinesi ve Destek Vektör Makineleri algoritmaları kullanılarak sınıflandırma yapıldı. EEG sinyallerinden Özbaklanımlı, Hjorth ve Güç Spektral Yoğunluğu olarak üç öznetelik seti çıkarılmıştır. Sonuç olarak, Özbaklanımlı özneteliklerin kullanıldığı durumda sınıflandırıcılar %45.67 ile %78.34 arasında performans gösterirken, Hjorth özneteliği kullanıldığında sınıflandırma performansları %43.34-75.25 ve son olarak Güç Spektral Yoğunluğu kullanılarak sınıflandırma performansları %57.36 ile %83.42 arasındadır. Ayrıca sınıflandırma performansları, sınıflandırma algoritmalarına göre Naive Bayes için %52.23 ile 79.15, Aşırı Öğrenme Makinesi için %56.32-83.42 ve Destek Vektör Makineleri için %43.34-72.27 arasında değişmektedir. Elde edilen doğruluk performansları arasında en iyi doğruluk değeri, Güç Spektral Yoğunluk özneteliği ve Aşırı Öğrenme Makinesi algoritması çifti ile elde edilen %83.42 olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Beyin bilgisayar arayüzü, Sınıflandırma, Elektroensefalogram, Durağan-durum görsel-uyarılmış potansiyel

\*Corresponding author: [ebru\\_drms@hotmail.com](mailto:ebru_drms@hotmail.com)

Ebru Sayılğan  [orcid.org/0000-0001-5059-3201](https://orcid.org/0000-0001-5059-3201)

Yılmaz Kemal Yüce  [orcid.org/0000-0001-5291-0565](https://orcid.org/0000-0001-5291-0565)

Yalcın İşler  [orcid.org/0000-0002-2150-4756](https://orcid.org/0000-0002-2150-4756)

## 1. Introduction

Brain-computer interfaces (BCI) translate brain activity into computer commands that provide direct communication between the brain and its environment, enabling users to interact within a predefined context without requiring muscle power (Wolpaw et al. 2000, Loo et al. 2011, Mason and Birch 2013). Today, the major focus of research on BCIs is on creating custom applications that enable individuals with severe motor disabilities to have effective control of devices such as computers, speech synthesizers, assistive devices and/or prostheses.

Electroencephalogram (EEG) signals are one of the most widely used types of biomedical signals for BCIs, owing to their portability, high time resolution, ease of acquisition and implementation, and cost-effectiveness (affordable) as compared to other brain activity monitoring techniques (Sayilgan et al. 2019, Sayilgan et al. 2020). There are four typical EEG-based BCI paradigms: steady-state visual-evoked potentials (SSVEP), slow cortical potentials (SCP), the P300 component of evoked potentials, and sensory-motor rhythms (SMR) (Pasqualotto et al. 2012). The SSVEP signal is a periodic response to a visual stimulator modulated at a frequency greater than 6 Hz (Wang et al. 2006) (or higher than 4 Hz (Regan 1990)). The amplitude and phase characteristics of the SSVEP depend on the stimulus intensity and frequency (Sayilgan et al. 2019b, Sayilgan et al. 2020).

SSVEP-based BCIs have become a popular research area utilizing many advantages over other types of BCIs, including higher signal-to-noise ratio (SNR) and faster information transfer rate (ITR), lesser training time. To improve SSVEP based BCIs performance, an effective frequency recognition algorithm plays an important role. In literature, various techniques for SSVEP based feature extraction and classification have been analyzed and developed by Carvalho et al. (2015), Oikonomou et al. (2016), Tello et al. (2014), Zerafa et al. (2018), and Zhang et al. (2018). The same features used in this study were previously investigated for different tasks (listening to music, mental task, motor task, etc.), and they reported high accuracies using the same features by Durmus et al. (2014), Ozmen et al. (2017), Sadreddini et al. (2014), Sayilgan et al. (2019a). Also, classification methods are proposed in Sayilgan et al. (2017), Sayilgan et al. (2019b). However, combinations of feature extraction and classification algorithms discussed in this study have not been studied for SSVEP signals.

In this study, various classification methods are used to classify SSVEP signals. The three well-known and popular classification algorithms, including Naive Bayes, Extreme Learning Machine (ELM), and Support Vector Machine (SVM) algorithms have a major impact on the performance of the entire systems, particularly on accuracy. Therefore, the achievements of these algorithms commonly used in SSVEP-based BCIs were compared in system performances.

This study was organized as follows: the second section introduces the materials. The characteristics of the raw signals recorded from the EEG device, details of the visual stimulation, basic information about the participants were provided and the visual task was described. Besides, detailed information on signal processing steps is presented in this section. In the next section, section 3, experimental results are shown that explain the performance of both classifiers and participants in successfully predicting tasks (through accuracy, sensitivity, and selectivity). Finally, the results of the classification and the performance differences among adopted classifiers are discussed and evaluated.

## 2. Materials and Methods

### 2.1 Collecting EEG Data: Experimental Setup and Protocol

#### 2.1.1. The EEG signal dataset and participants

EEG signals recorded at the Autonomous University were downloaded from the Internet (<http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/EEG+Steady-State+Visual+Evoked+Potential+Signals>) and were used in this study. Dataset comprises of EEG signals acquired at experiments that were conducted on a total number of 29 healthy participants (17 males and 12 females) aged between 20-29 and 48-50. Seventeen of the participants had normal whereas twelve had corrected views (Fernandez-Fraga et al. 2018a).

#### 2.1.2. The EEG device

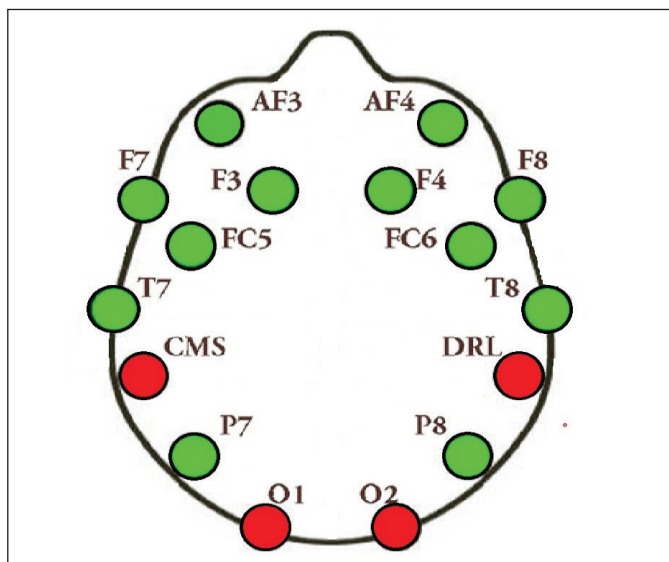
EEG signals were obtained using a portable, high-resolution Emotive EPOC+ EEG model. The device has a total number of 16 electrodes (14 data channels, and 2 reference channels). The electrodes are positioned concerning the international standard called the International 10-20 System (Figure 1). The device was capable of measuring amplitude within a dynamic range of -4.17 mV and +4.17 mV for each channel. The device's sampling rate per channel was 128 Hz. However, by applying a band-pass filter, signals within a frequency response of 0.16 to 43 Hz was acquired and

quantized using an Analog-to-Digital Converter with a quantization resolution of 16 bits per channel (Fernandez-Fraga et al. 2018a).

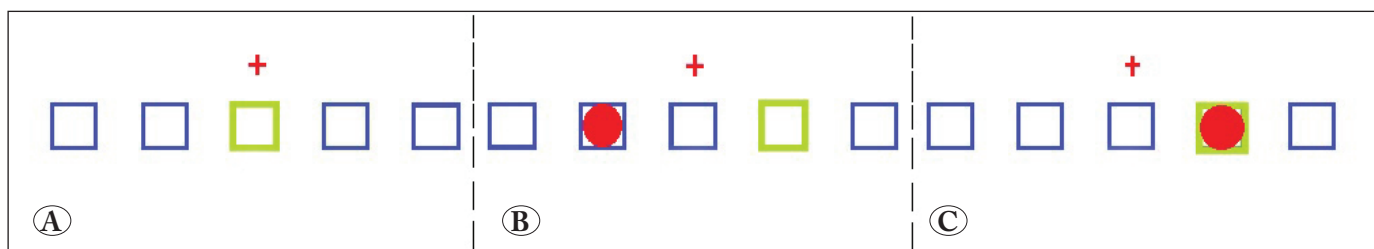
### 2.1.3. The setting and experimental protocol

During the experimental trials, participants were seated in a comfortable chair at a distance of 70 cm from the standard 15-inch LCD monitor (Fernandez-Fraga et al. 2018a). This experimental setup is developed by another group Makeig et al. (1999), for visual discrimination for the analysis of SSVEP-based BCI systems. The tests aimed to obtain data-related stimuli in brain signals during a simple attention exercise, and research was conducted to find the difference between carefully related and irrelevant stimuli. Test participants were expected to distinguish between different types of stimuli presented at high frequencies (Fernandez-Fraga et al. 2018a, Fernandez-Fraga et al. 2018b).

Before starting the test, the participant is asked to concentrate when a red cross appears in the green box (Makeig et al. 1999). The test begins with the configuration shown in Figure 2 (a). A total number of 100 stimuli were



**Figure 1.** 10-20 international electrode topographic representation.



**Figure 2.** Five-box test (A) Initial state (B) Unattended stimulus (C) Attended stimulus (event).

presented in each test: 20 attended (events) 80 unattended (Figure 2 (b) and 2 (c), respectively), the last 200 ms remain on the screen before the stimulus disappears (Courchesne et al. 1994).

## 2.2. Analysis of Steady-State Visually-Evoked Potentials

### 2.2.1. Preprocessing

SSVEP signals, unfortunately, might easily get contaminated by other bio-signals or environmental noise. Therefore, the first step is to filter noisy data as much as possible (Diez et al. 2013). According to the literature, band-pass and notch filters are widely used as filters in the preprocessing step. The signals are digitized within a certain frequency range corresponding to the stimulus frequencies and their harmonics. Since the EEGs are in the narrow-band frequency range, a band-pass filter was used in the signal preprocessing step. Also, the notch filter is often used to filter the mains line interference. SSVEP is subdivided using stimulus points that indicate the beginning and end of the signal. The data were filtered by a band-pass filter with cutoff frequencies of 0.16 and 43 Hz to remove the DC component and high-frequency artifacts, including city mains interference (50 Hz). Since SSVEP signals are not sensitive to low-frequency structures such as eye or body movements, no extra artifact removal method has been used (Wu 2016, Oostenveld et al. 2011).

### 2.2.2. Feature extraction

Feature extraction and feature classification use distinctive features of SSVEP signals to define an individual's intention to control an external device. In other words, feature extraction consists of extracting important features from the recorded SSVEP data and obtaining the feature vector. In this way, the size of the feature vector is reduced while the most defining properties are selected for the classifier.

Feature extraction sometimes requires time-consuming signal analysis. Existing BCIs typically generate, frequency domain information such as mu ( $\mu$ ) (8-12 Hz) and/or

high beta (18-26 Hz) rhythm amplitudes, or time-domain information such as P300 and slow cortical potentials (SCP) (Guger et al. 2009, Chiappa and Bengio 2004) or power spectral density (PSD) values (Millan and Mourino 2003, Penny et al. 2000), and autoregressive (AR), and Hjorth parameters (Pfurtscheller et al. 1998, Gunal 2001).

In this study, as the feature vectors, autoregressive parameters (AR), Hjorth parameters and power spectrum density (PSD) were tested. These three feature extraction methods were compared in terms of classification performances.

The autoregressive model (AR), whose order is  $p$ , is calculated by Eq. 1 equation. In this equation,  $x(n)$  indicates the output sequence,  $e(n)$  indicates the white noise sequence with the variance  $\sigma^2$ ,  $a(k)$  indicates the relational parameters (AR) and/or feature. The AR( $p$ ) model is characterized by the AR model parameters  $\{a[1], a[2], \dots, a[p], \sigma^2\}$ .

$$\begin{aligned} & \{1, a[2], \dots, a[p], \sigma^2\}. \\ x[n] = & -\sum_{k=1}^p a[k]x[n-k] + e[n] \end{aligned} \quad (1)$$

The Hjorth identifiers are constructed by combining three sub-parameters. These parameters are activity, mobility, and complexity. Activity is simply defined as the energy of the signal ( $\sigma_x$ ). Mobility is the ratio of the standard deviation of the first derivative of the  $x$  signal to the standard deviation of the signal, expressed in the equation given in Eq. 2.

$$M = \frac{\sigma_{x'}}{\sigma_x} \quad (2)$$

Complexity, also known as form factor (FF), gives a computable value for the form of the signal.

$$FF = \frac{Mx'}{Mx} = \frac{\sigma_{x''}/\sigma_{x'}}{\sigma_{x'}/\sigma_x} \quad (3)$$

The power spectral density (PSD) can be considered as the power distribution on the frequency band of the signal. The strength of a signal is calculated by squaring it. PSD of a signal is calculated by taking the Fourier transform of the signal's autocorrelation function. PSD is widely used in the literature as a feature, was calculated by the Welch periodogram (Millan and Mourino 2003, Penny et al. 2000, Pfurtscheller et al. 1998, Gunal 2001, Oikonomou et al. 2016).

### 2.2.3. Classification methods

**Naive Bayes** is a clustering classification algorithm based on probability prediction which is widely used in pattern recognition studies. It is a successful classification model based on the principle of calculating the probability of

membership in all data classes in a data set (Ibanez et al. 2014).

**Extreme-learning machine (ELM)** was developed based on a single-layer and feed-forward network model (Huang et al. 2006). ELM is preferred in many different areas of the literature due to its advantages such as short training time, high accuracy generalization (Altan and Kutlu 2018, Altan et al. 2016, Yayık 2017) over new samples in multi-class training clusters and no need for any training parameters (Huang and Chen 2007). ELM randomly assigns the input weights and hidden node values of the neural network, and the output layer weights are calculated by the least-squares method (Tang et al. 2015).

**Support vector machine (SVM)** has adopted the principle of large margins to formulate decision rules, using a solid foundation in statistical learning theory (Vapnik 1998). Depending on the selection of kernel functions, different classifiers, including linear and non-linear classifiers, can be created. For ease of evaluation, only linear classifiers were used and the penalty parameter was taken as 1 in SVM training.

### 2.2.4. Evaluation of classifiers

In order to evaluate the performance of the classification algorithms used in this study,  $k$ -fold cross-validation and confusion matrix evaluation criteria were used.

#### **$k$ -Fold Cross-Validation**

One of the most commonly used methods to separate the data set as a training and test set is the  $k$ -fold cross-validation method. In this method, the data set is divided into random pieces. Each time  $k-1$  is used for training the algorithm, while the remaining 1 is used for testing the algorithm. This process is repeated until all parts are used for testing purposes. Test errors are recorded each time and the average of the errors is calculated after the last piece (Narin et al. 2014). The performance of the classifier algorithm used is evaluated in this way. In this study, the data set is divided into 10 equal parts.

#### **Confusion Matrix**

To evaluate the classifier performance, the confusion matrix is first calculated. It is created by comparing the answers given by the classification algorithm to the test set with the real values in the data set. The confusion matrix criteria used for performance evaluation in this study are given below;

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \quad (4)$$

$$SEN = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

$$SPE = \frac{TN}{TN + FP} \quad (6)$$

The above formulas are expressed as accuracy (ACC), sensitivity (SEN) and selectivity (SPE), respectively. All values in the equations are calculated in the Matlab environment using the “Confusion Matrix”. TP belongs to a class and represents the number of data assigned to the same class by the classifier and FN represents the number of data assigned to a different class in error. The number of data belonging to a different class and assigned to a different class by the classifier is represented by TN, and the number of data assigned by mistake to the same class is represented by FP (Narin et al. 2014).

### 3. Results and Discussion

The performances of the classifier algorithms were calculated with the Matlab program and SSVEP data were classified by using Naive Bayes, ELM and SVM algorithms. For the SVM algorithm, the libSVM library was used with the library’s default parameters (i.e. Linear Kernel and C = 1). In the remaining algorithms (Naive Bayes and ELM), we trusted MATLAB’s Statistics and Machine Learning toolbox applications, using the default parameters for each classification scheme found in MATLAB’s online manual. In order to obtain a correct solution in a reasonable time for each algorithm, the optimum number of iterations deemed appropriate in the literature was determined as convergence

criteria. Performance values were determined by performing 10 iterations in total and averaging the results obtained. The performance of each classification algorithm was evaluated using 10-fold cross-validation. Nine combinations of different feature extraction and classifiers were tested for each person. Table 1 summarizes the average performance of all classification schemes.

The classification achievements of SSVEP data recorded from twenty-nine different individuals during visual tasks were given as percentages. According to these results, when the AR, Hjorth and PSD feature extraction methods were applied separately and tested with Naive Bayes, ELM and SVM classifiers, the success rates of the tasks were close to each other but the ACC rates were between 46.43-82.58% on average. When the classifiers are compared among themselves, the lowest and highest achievements of the Naive Bayes classifier are 52.23% and 79.15%, while the ELM classifier is 56.32-83.42% and the SVM classifier is the lowest 43.34% and the highest 72.27%. In terms of feature methods, the classification results of the AR and PSD features are 45.67-78.34%, and 57.36% and 83.42%, respectively, and for Hjorth 43.34-75.25%.

When the experimental results of the feature methods are examined, it is seen that the classification success of the AR and PSD feature parameters including the frequency domain properties is higher than the Hjorth descriptors. Also, the ELM algorithm gave the highest success among the classifiers that are investigated in this study while the SVM algorithm resulted in the worst performance among these classifiers.

**Table 1.** Classification results of SSVEP-based BCI data.

Trial set	Classifiers	Classifier Performances (%)								
		AR			Hjorth			PSD		
		SEN	SPE	ACC	SEN	SPE	ACC	SEN	SPE	ACC
Five Box Visual Task 1	Naive Bayes	59.85	55.33	57.93	52.23	56.81	54.30	68.96	75.43	71.03
	ELM	73.24	69.01	71.79	68.41	56.32	61.80	79.07	72.18	76.33
	SVM	45.67	52.84	50.11	47.22	43.34	46.43	60.33	57.36	59.20
Five Box Visual Task 2	Naive Bayes	58.02	62.76	60.94	52.58	59.05	54.90	70.40	66.65	68.41
	ELM	78.34	75.42	73.38	71.31	69.83	71.03	83.42	81.36	82.58
	SVM	49.92	58.33	57.45	54.20	51.10	53.17	64.88	61.39	63.44
Five Box Visual Task 3	Naive Bayes	62.43	68.98	66.68	60.38	66.41	64.31	79.15	73.59	77.26
	ELM	77.88	66.69	70.09	71.77	75.25	74.34	81.03	77.26	80.16
	SVM	65.14	58.03	63.32	53.43	54.42	52.75	72.27	69.40	71.39

In conclusion, since it is known that SSVEP data varies from person to person, a larger number of participants may be necessary to reach a general judgment. It is one of the drawbacks of our study. We used a general-purpose and freely-available dataset; hence, we were not able to use a larger dataset in this study. Besides, since it is difficult in many respects to experiment with people with neurophysiological disorders, trials have been conducted with healthy individuals in this study and many studies in the literature.

The experimental results show the potential of the proposed procedure in real-time applications to contribute to SSVEP based brain-computer interface applications.

#### 4. References

- Altan, G., Kutlu, Y., Allahverdi, N. 2016.** Deep belief networks based brain activity classification using EEG from slow cortical potentials in stroke. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, 4: 205-210. <http://dx.doi.org/10.18100/ijamec.270307>.
- Altan, G., Kutlu, Y. 2018.** Generative autoencoder kernels on deep learning for brain activity analysis. *Natural and Engineering Sciences*, 3(3): 311-322. <https://doi.org/10.28978/nesciences.468978>.
- Carvalho, SN., Costa, TB., Uribe, LF., Soriano, DC., Yared, G. FG., Coradine, LC., Attux, R. 2015.** Comparative analysis of strategies for feature extraction and classification in SSVEP BCIs. *Biomed. Signal Proces.*, 21: 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.05.008>.
- Chiappa, S., Bengio, S. 2004.** HMM and IOHMM modeling of EEG rhythms for asynchronous BCI Systems. *European Symposium on Artificial Neural Networks (ESANN)*, 199-204, Bruges, Belgium.
- Courchesne, E., Townsend, J., Akshoomoff, NA., Saitoh, O., Yeung-Courchesne, R., Lincoln, AJ., James, HE., Haas, RH., Schreibman, L., Lau, L. 1994.** Impairment in shifting attention in autistic and cerebellar patients. *Behav. Neurosci.*, 108(5): 848-865. <https://doi.org/10.1037/0735-7044.108.5.848>.
- Diez, PF., Correa, AG., Leber, EL. 2013.** SSVEP detection using adaptive filters. *5th Latin American Congress on Biomedical Engineering*, 33: 1154-1157.
- Durmuş, E., Sadreddini, Z., Özmen, NG. 2014.** Beyin bilgisayar arayüzü sistemleri için uygun öznitelik ve sınıflandırıcı seçimi. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK)*, Kocaeli, 11-13 Eylül, 651-656.
- Fernandez-Fraga, SM., Aceves-Fernandez, MA., Pedraza-Ortega, JC. 2018a.** Feature extraction of EEG signal upon BCI systems based on steady-state visual evoked potentials using the ant colony optimization algorithm. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2018: 1-19. <https://doi.org/10.1155/2018/2143873>.
- Fernandez-Fraga, SM., Aceves-Fernandez, MA., Pedraza-Ortega, JC., Ramos-Arreguin, JM. 2018b.** Screen task experiments for EEG signals based on SSVEP brain computer interface. *Int. J. Adv. Res. (Indore)*, 6(2): 1718-1732. <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/6612>.
- Guger, C., Ramoser, H., Pfurtscheller, G. 2009.** Real-time EEG analysis with subject-specific spatial patterns for a brain-computer interface (BCI). *IEEE Trans. Rehabil. Eng.*, 8: 447-456. <https://doi.org/10.1109/86.895947>.
- Gunal, S. 2001.** *Örüntü tanıma uygulamalarında alt uzay analiziyle öznitelik seçimi ve sınıflandırma*. Doktora tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Huang, G., Chen, L. 2007.** Convex incremental extreme learning machine. *Neurocomputing*, 70(16-18): 3056-3062. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2007.02.009>.
- Huang, G., Zhu, Q., Siew, C. 2006.** Extreme learning machine: Theory and applications. *Neurocomputing*, 70: 489-501. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2005.12.126>.
- Ibanez, A., Bielza, C., Larranaga, P. 2014.** Cost-sensitive selective naive bayes classifiers for predicting the increase of the h-index for scientific journals. *Neurocomputing*, 135: 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2013.08.042>.
- Loo, C. K., Samraj, A., Lee, G. C. 2011.** Evaluation of methods for estimating fractal dimension in motor imagery-based brain computer interface. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 724697: 1-8. <https://doi.org/10.1155/2011/724697>.
- Makeig, S., Westerfield, M., Jung, TP., Covington, J., Townsend, J., Sejnowski, TJ., Courchesne, E. 1999.** Functionally independent components of the late positive event-related potential during visual spatial attention. *J. Neurosci.*, 19(7): 2665-2680. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.19-07-02665.1999>.
- Mason, S. G., Birch, G. E. 2003.** A general framework for brain-computer interface design. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 11: 70-85. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2003.810426>.
- Millan, JR., Mourino, J. 2003.** Asynchronous BCI and local neural classifiers: An over view of the adaptive brain computer interface project. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 11: 159-161. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2003.814435>.
- Narin, A., İşler, Y., Özer, M. 2014.** Konjestif kalp yetmezliği teşhisinde kullanılan çapraz doğrulama yöntemlerinin sınıflandırıcı performanslarının belirlenmesine olan etkilerinin karşılaştırılması. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(48): 1-8. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/deumffmd/issue/40797/492155>.

- Oikonomou, VP., Liaros, G., Georgiadis, K., Chatzilari, E., Adam, K., Nikolopoulos, S., Kompatsiaris, I. 2016.** Comparative evaluation of state-of-the-art algorithms for SSVEP-Based BCIs. *ArXiv*, 1-33. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/1602.00904v2>.
- Oostenveld, R., Fries, P., Maris, EJ., Schoffelen, M. 2011.** Field trip: Open source software for advanced analysis of MEG, EEG, and invasive electrophysiological data. *Comput. Intel. Neurosc.*, 2011: 1-9. <https://doi.org/10.1155/2011/156869>.
- Özmen, NG., Durmuş, E., Sadreddini, Z. 2017.** Müzik sınıflandırması beyin bilgisayar arayüzü uygulamaları için bir alternatif olabilir mi?. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 22(2): 11-22. <https://doi.org/10.17482/uumfd.335419>.
- Pasqualotto, E., Federici, S., Belardinelli, MO. 2012.** Toward functioning and usable brain-computer interfaces (BCIs): A literature review. *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.*, 7: 89-103. <https://doi.org/10.3109/17483107.2011.589486>.
- Penny, WD., Roberts, SJ., Curran, EA., Stokes, MJ. 2000.** EEG-Based Communication: a Pattern Recognition Approach. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 8: 214-215. <https://doi.org/10.1109/86.847820>.
- Pfurtscheller, G., Neuper, C., Schlogl, A., Lugger, K. 1998.** Separability of EEG signals recorded during right and left motor imagery using adaptive autoregressive parameters. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 6: 316-325. <https://doi.org/10.1109/86.712230>.
- Regan, D. 1990.** Human brain electrophysiology: Evoked potentials and evoked magnetic fields in science and medicine. *Br. J. Ophthalmol.*, 7: 450-451. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1042082/>.
- Sadreddini, Z., Durmuş, E., Özmen, N. G. 2014.** EEG verilerinden farklı müzik türü ve zihinsel görevlerin ayırt edilmesi. *Akıllı sistemlerde Yenilik ve Uygulamaları (ASYU)*, İzmir, Türkiye, 9-10 Ekim, 44-48.
- Sayilgan, E., Cura, O. K., Isler Y. 2017.** Use of clustering algorithms and extreme learning machine in determining arrhythmia types. *IEEE 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/SIU.2017.7960236>.
- Sayilgan, E., Yuce YK., Isler Y. 2019a.** Classification of hand movements from EEG signals using machine learning techniques. *2019 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)*, Izmir, Turkey, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ASYU48272.2019.8946334>.
- Sayilgan, E., Yuce YK., Isler Y. 2019b.** Prediction of evoking frequency from steady-state visual evoked frequency. *Natural and Engineering Sciences*, 4(3): 91-99.
- Sayilgan E., Yuce YK., Isler Y. 2020.** Evaluation of wavelet features selected via statistical evidence from steady-state visually-evoked potentials to predict the stimulating frequency. *Gazi University Journal of Engineering and Architecture*, Accepted.
- Tello, RG., Müller, S., Bastos, T., Ferreira A. 2014.** A comparison of techniques and technologies for SSVEP Classification. *5th ISSNIP-IEEE Biosignals and Biorobotics Conference*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/BRC.2014.6880956>.
- Tang, J., Deng, C., Huang, G., Zhao, B. 2015.** Compressed-domain ship detection on spaceborne optical image using deep neural network and extreme learning machine. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 53(3): 1174-1185. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2014.2335751>.
- Vapnik, V. 1998.** Statistical learning theory. 978-0471030034, Wiley-Interscience, Canada.
- Wang, Y., Wang, R., Gao, X., Hong, B., Gao, S. 2006.** A practical VEP-based brain-computer interface. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 14: 234-239. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2006.875576>.
- Wolpaw, JR., Birbaumer, N., Heetderks, WJ., McFarland, DJ., Peckham, PH., Schalk, G., Donchin, E., Quatrano, LA., Robinson, CJ., Vaughan, TM. 2000.** Brain-computer interface technology: A review of the first international meeting. *IEEE Trans. Rehabil. Eng.*, 8: 164-173. <https://doi.org/10.1109/TRE.2000.847807>.
- Wu, Z. 2016.** Physical connections between different SSVEP neural networks. *Scientific Reports – Nature*, 6: 22801. <https://doi.org/10.1038/srep22801>.
- Yayık, Apdullah. 2017.** Enhancing Extreme Learning Machine: Novel Extensions and Applications to Optimizing Visual Stimuli for Brain Computer Interface. PhD Thesis, *Mustafa Kemal University, Graduate School and Applied Sciences, Department of Informatics*. Hatay, Turkey.
- Zerafa, R., Camilleri, T., Falzon, O., Camilleri, KP. 2018.** To train or not to train? A survey on training of feature extraction methods for SSVEP-Based BCIs. *Journal of Neural Engineering*, 15(5). <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aaca6e>.
- Zhang, Y., Guo, D., Li, F., Yin, E., Zhang, Y., Li, P., Zhao, Q., Tanaka, T., Yao, D., Xu, P. 2018.** Correlated component analysis for enhancing the performance of SSVEP-based brain-computer interface. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, 26(5): 948-956. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2018.2826541>.





# Mikroemülsiyon Tekniği ile Üretilmiş Hidroksiapatit Nanoparçacıkların Ti6Al4V Altlıklar Üzerine Elektroforetik Biriktirme Yöntemi ile Kaplanması ve Vakum Ortamında Sinterlenmeleri

*Electrophoretic Deposition of Hydroxyapatite Nanoparticles Synthesized by Microemulsion Technique on Ti6Al4V Substrates and their Sintering in Vacuum Ambient*

Mustafa Burak Telli , Arzu Altınpınar\* 

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, İzmit-Kocaeli, Türkiye

## Öz

Bu çalışmada mikroemülsiyon tekniği kullanılarak üretilmiş biyouyumlu hidroksiapatit nano parçacıkların Elektroforetik biriktirme (EPD) yöntemiyle Ti6Al4V altlıklar üzerine kaplanmaları ve vakum ortamında sinterlenmeleri incelenmiştir. Mikroemülsiyon tekniğiyle hidroksiapatit nanoparçacık üretiminde yüzey aktif madde olarak Sodyum Dodesil Sülfat (SDS), su emülsiyon ortamı olarak kalsiyum hidroksit solüsyonu, ikinci sıvı organik matris ortamı olarak benzen ve fosfor kaynağı olarak seyreltilmiş ortofosforik asit kullanılmıştır. Nano boyutta HAp parçacıkları, hızlı bir karıştırma işlemi ile oluşan su mikroemülsiyonu içinde çökeltme reaksiyonu sonucunda üretilmiştir. Sentezlenen hidroksiapatit nanoparçacıkların boyutunun Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) incelemeleri ile 20-200 nm aralığına olduğu belirlenmiştir. Nano hidroksiapatit parçacıkları sentezlendikleri su ortamında doğru akım (DC) güç kaynağı kullanılarak 5, 10, 15, 20 ve 30 dakikalık sürelerde elektroforetik biriktirme yöntemiyle kaplanmış, hava ortamında yavaş kurutulmuş ve 1000 °C'de 10<sup>-4</sup> mbar vakum altında 20 dakika sinterlenmiştir. Sentezlenen nano hidroksiapatit parçacıklar ve kaplamaların kristal yapı oluşumları X - Işınları difraksiyonu (XRD) kullanılarak incelenmiştir. Kaplamaların sinterleme öncesi ve sonrası mikroyapıları ışık mikroskopuyla incelenip belirtilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektroforetik biriktirme, Hidroksiapatit, Mikroemülsiyon, Sinterleme, Ti6Al4V

## Abstract


In this study, the coating of biocompatible hydroxyapatite nanoparticles produced by using microemulsion technique on Ti6Al4V substrates by electrophoretic deposition (EPD) method and their sintering in vacuum environment were investigated. In the production of hydroxyapatite nanoparticles by microemulsion technique, Sodium Dodecyl Sulphate (SDS) was used as a surfactant, calcium hydroxide solution as a water emulsion medium, benzene as a second liquid organic matrix medium and diluted orthophosphoric acid as a source of phosphorus. Nano sized HAp particles were produced as a result of precipitation reaction in a water microemulsion formed by a rapid mixing process. The size of the synthesized hydroxyapatite nanoparticles was determined to be in the 20-200 nm range by Scanning Electron Microscope (SEM) examinations.

Nano hydroxyapatite particles were coated by electrophoretic deposition method for 5, 10, 15, 20 and 30 minutes using a direct current (DC) power source in the water environment where they were synthesized, dried slowly in air ambient and sintered at 1000 °C under 10<sup>-4</sup> mbar vacuum for 20 minutes. Synthesized nano hydroxyapatite particles and crystal structure formations of coatings were examined by using X - Ray diffraction (XRD). The microstructures of the coatings before and after sintering were examined and specified with a light microscope.

**Keywords:** Electrophoretic deposition, Hydroxyapatite, Microemulsion, Sintering, Ti6Al4V

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [arzualtinpinar88@gmail.com](mailto:arzualtinpinar88@gmail.com)

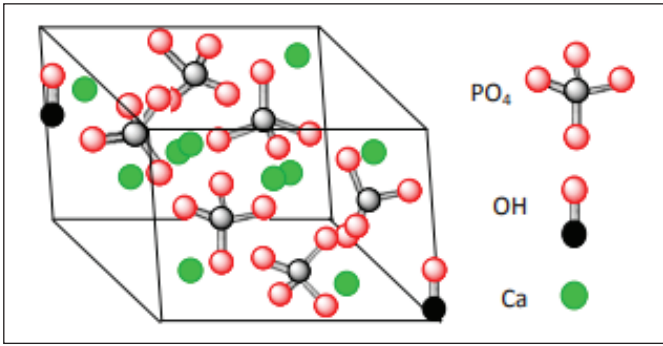
Mustafa Burak Telli  [orcid.org/0000-0001-8302-9615](https://orcid.org/0000-0001-8302-9615)

Arzu Altınpınar  [orcid.org/0000-0001-7620-2299](https://orcid.org/0000-0001-7620-2299)

## 1. Giriş

### 1.1. Hidroksiapatit

Hidroksiapatit (HAp)  $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$ , insan vücudunda bulunan başlıca kalsiyum fosfat seramik türlerinden biridir ve biyolojik olarak uyumlu bir malzemedir (Ahn vd. 2001). HAp yapısı Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Hidroksiapatit yapısının şematik gösterimi (Rujitanapanich vd 2014).

Hidroksiapatit kalsiyum ve fosfor içeren biyoyumlu bir malzemedir. HAp, kemik dokusu rejenerasyonu için bir implant olarak, metalik implantlar için bir kaplama malzemesi olarak, kontrollü ilaç salınımı sistemlerinde ve malzemelerin biyoyumluluğunu artırmak için yaygın olarak kullanılır (Gomes vd. 2019).

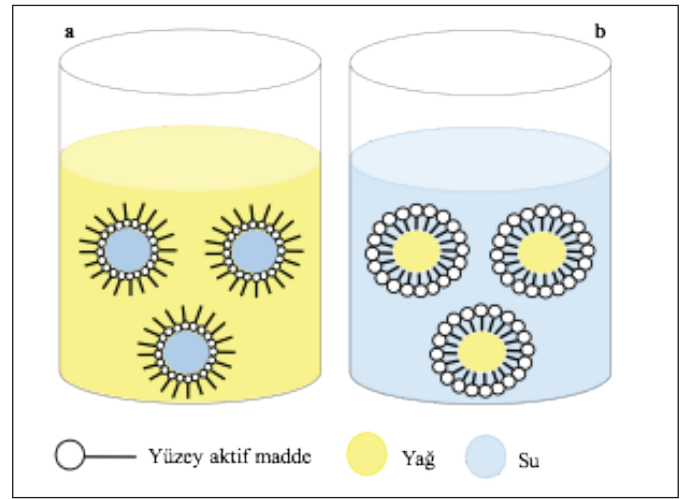
HAp üretiminde kimyasal çökeltme, sol-gel, hidrotermal sentez ve mikroemülsiyon işlemi gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler içinde, mikroemülsiyon tekniği, boyut, geometri, morfoloji, homojenlik ve yüzey alanı gibi nanoparçacık özelliklerinin daha iyi kontrol edilmesini içeren çeşitli avantajlara sahiptir (Olteanu vd. 2015).

### 1.2. Mikroemülsiyon Yöntemi

Mikroemülsiyon yöntemi nanoparçacık sentezinde yaygın kullanılan bir yöntemdir (Ashok vd. 2008). Emülsiyonlar yağ ve su gibi birbiriyle karışmayan iki sıvının bir yüzey aktif madde yardımıyla mikrometre çapında sıvı damlacığın çözünmeyen başka bir sıvı içinde dağıtılmasıyla oluşturulur. Mikroemülsiyon sistemlerinde dağıtılmış sıvı damlacıklar mikro reaktörler gibi davranarak nanoparçacık sentezlenmesine olanak sağlayan reaksiyon ortamı olarak kullanılırlar (Ghosh vd. 2016). Bu yöntemde üretilen parçacıklar askıda kalarak koloidal bir süspansiyon oluştururlar. Mikroemülsiyon yöntemi ile HAp sentezi, kullanılan yüzey aktif madde sayesinde topaklanmaların oluşumunu engeller, nano parçacığın boyut ve morfolojisinin

kontrolüne izin verir (Ghosh vd. 2016). Uygun miktarda lipofilik (organik seven) ve hidrofilik (su seven) gruplara sahip yüzey aktif madde (sümfaktan) ile birbiri içinde çözünmeyen organik ve su fazlarının mekanik olarak karıştırılmasıyla oluştururlar.

Mikroemülsiyonlar genellikle su içinde yağ emülsiyonu ya da yağ içinde su emülsiyonu şekline oluşturulurlar (Ghosh vd. 2016). Şekil 2'de yüzey aktif madde (sümfaktan) içeren su içinde yağ, yağ içinde su emülsiyonunun oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 2. Faz özelliklerine göre emülsiyonların gösterimi: a) yağ içinde su emülsiyonu, b) su içinde yağ emülsiyonu.

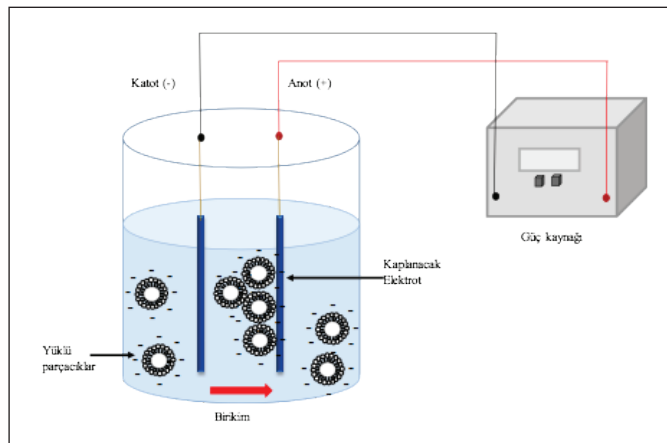
Emülsiyon oluşumu hızlı bir karıştırma işlemi gerektirir (Khan vd. 2011). Hızlı karıştırma işlemi sonucunda birbirine karışmayan iki sıvı faz arasındaki ara yüzey deforme olur, devam eden karıştırmayla küçük damlacıklar oluşur ve iki sıvı faz bir birinden ayrılırlar. Bir emülsiyonun oluşumunda iki sıvı faz arasındaki hacimsel oran, yüzey aktif maddenin miktarı, karıştırma hızı ve süresi önemli faktörlerdendir (Khan vd. 2014). Yüzey aktif madde, ara yüzeyde soğurulan, yüzey gerginliği azaltan bir moleküldür ve iyi tanımlanmış iki gruptan oluşur; biri suda çözünür hidrofilik kısım, diğeri ise yağda çözünebilir hidrofobik kısımdır (Khan vd. 2014).

Yüzey aktif madde yağ-su arayüzeyinde, hidrofilik grup suda, hidrofobik grup yağda kalacak şekilde yerleşir, ara yüzey gerilimi düşürür yağ ve suyu ayıran kuvvetleri zayıflatır, böylece iki fazın bir birinden ayrılmasını engeller (Mena 2014). Bu çalışmada kullanılan mikroemülsiyon yöntemi, daha küçük boyutlarda parçacık üretimine olanak sağlaması ve elde edilen süspansiyonun elektroforetik kaplama deneylerinde doğrudan kullanım kolaylığı

sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir. Böylece elektroforetik kaplamalar için gerekli olan ayrı bir süspansiyon hazırlığına gerek duyulmamıştır.

### 1.3. Elektroforetik Biriktirme

Elektroforetik kaplama, bir kolloid çözeltisi içerisinde parçacıkların substrat (altlık malzeme) üzerine biriktiği bir işlemdir (Amrollahia 2015). Şekil 3'de gösterildiği gibi sistem iki elektrotlu bir hücrede gerçekleşir ve sıvı içinde dağıtılan yüklü parçacıkların, uygulanan elektrik alan sonucu kaplama elektroduna doğru hareketi sağlanır böylece elektrot üzerinde katı birikimi oluşur (Augello vd 2015).



Şekil 3. Yüklü parçacıkların metal plaka üzerine elektroforetik birikiminin şematik gösterimi.

Metal plakalar üzerine hidroksiapatit kaplama oluşturmak için daldırılmalı kaplama, plazma püskürtme, elektroforetik kaplama ve sol-gel işlemleri gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler arasından elektroforetik kaplama (EPD), diğer tekniklerle kıyaslandığında, kolay kurulumu, düşük donanım maliyeti, karmaşık şekillere uygulanabilirliği, altlık malzemenin şekliyle ilgili çok kısıtlama getirmemesi, gözenekli yapıların iç yüzeylerini bile kaplayabilen çeşitli şekiller için çok yönlü olması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi gibi avantajlara sahiptir (Boccaccini vd. 2010). EPD yönteminde, kullanılan nano parçacıkların uygulanan elektrik alanı altında hareket edebilmeleri için yüzey yüküne sahip olmaları gereklidir. Böylece bir elektrik alan uygulandığında pozitif veya negatif yüzey yüküne sahip olan parçacıklar hareket ederek elektrotlardan birinin yüzeyinde birikmeye başlayarak bir birikim meydana getirecektir (Tassel vd. 2006, Corni vd. 2008). Parçacıkların homojen bir şekilde elektrot üzerinde birikmesi için deney parametreleri oldukça önemlidir. Parçacık boyutu, kaplama süresi, uygulanan elektrik alan

ve altlık malzemenin seçimi bu parametrelerden birkaçıdır. (Besra ve Liu 2007, Chen ve Liu 2001). Gerçekleştirilen bu çalışmada altlık malzeme olarak biyoyumlu Ti6Al4V alaşımı tercih edilmiştir. Ti6Al4V alaşımının; toksik olmayan yapısı, hafif olması, iyi mekanik özelliklere sahip oluşu, biyoyumluluğunun yüksek olması ve korozyona karşı dirençli olması gibi özellikleri ortopedik uygulamalarda bir biyomalzeme olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Juliadmi vd. 2017). Bu nedenle; Ti6Al4V elektroforetik kaplamalarda HAp kaplaması için metal altlık olarak kullanılmıştır (Juliadmi vd. 2017).

### 1.4. Sinterleme

Elektroforetik işlemi sonrası kaplama parçacıkların birikimi şeklindedir ve parçacıklar ile kaplamanın yapıldığı altlık malzeme (substrat) arasındaki kimyasal bağ oluşturmak için numune yüksek sıcaklıkta sinterleme işleminden geçirilmelidir (Augello vd. 2015). Sinterlemede birbirine temas eden partiküllerin yüksek sıcaklıklarda birbirine ve altlığa kimyasal olarak bağlanması sağlanmaktadır. Malzemenin kimyasal kompozisyonu, tane boyutu ve yüzey kimyası sinterlemeyi etkileyen önemli faktörlerden birkaçıdır. Genelde mikron boyutunda taneciklere sahip HAp'lar için uygun sinterleme sıcaklığı 1100-1300°C bandındadır (Ruys vd. 1995). Ancak nano boyuttaki taneciklere sahip hidroksiapatitler daha yüksek yüzey alanlarına sahip olmaları nedeniyle mikron tanecikli hidroksiapatitlere göre daha düşük sıcaklıklarda sinterlenmeye olanak sağlarlar (Ruys vd. 1995). Mikron boyutundaki HAp parçacıkları genellikle 1100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda sinterlenmeleri sonucunda kalsiyum oksit ve trikalsiyum fosfat (TCP) gibi ikincil fazlara ayrışmaya başlarlar (Ahn vd. 2001, Ruys vd. 1995). Ancak nano boyutlu HAp'lar daha düşük sıcaklıklarda sinterlenebilmeleri sayesinde ikincil fazların oluşması azalmaktadır.

## 2. Gereç ve Yöntem

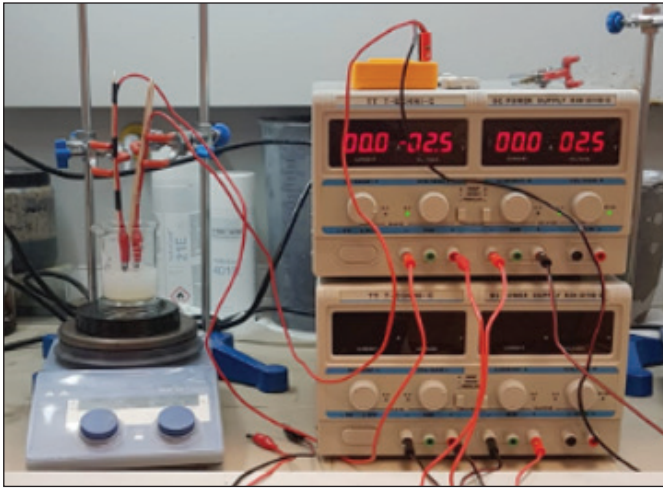
### 2.1. Nanoparçacık Sentezi

Hidroksiapatit parçacıkları Ca/P mol oranı 1,67 olacak şekilde oda sıcaklığında üretilmiştir. Ca(OH)<sub>2</sub> (Kireç suyu) içeren bazik su mikroemülsiyonu, Sodyum Dodesil Sülfat (SDS) yüzey aktif maddesi kullanımıyla organik benzen solventi içinde hızlı karıştırma ile oluşturulmuştur. 50 ml kireç suyu ve 0,5 g SDS, "Heildoph Rotary Evaporator" marka dönerli buharlaştırıcıda hızlı karıştırılarak çözdürülmüştür. Karıştırma işlemi devam ederken; 25 ml benzen ve seyreltilmiş ortofosforik asit (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) karışıma damla damla eklenmiş ve karıştırma işlemi devam etmiştir.

Karıştırma tamamlandıktan sonra benzen vakum altında çözeltiden buharlaştırılıp yoğunlaştırılarak ayrıştırılmış ve su içinde askıda kalan HAp nanoparçacıkları elde edilmiştir. Sentezlenen HAp parçacıkları üç kez yıkanmış ve etüvde kurutulmuştur.

## 2.2. Elektroforetik Kaplamalar

Elektroforetik kaplamalar için Şekil 4'de gösterilen DC güç kaynağı (TT Technic RXN-3010D-II) kullanılmış ve kaplamanın yapılacağı altık malzeme olarak ise Ti6Al4V plakası tercih edilmiştir.



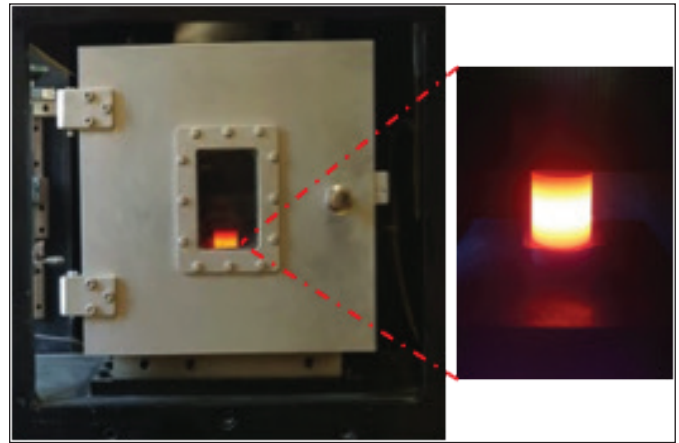
Şekil 4. Elektroforetik kaplama deneysel sistemi.

HAp ile kaplanacak Ti6Al4V altlıklar 600, 1000 ve 2000' lik SiC zımpara kâğıtları ile zımparalanmış ve 3 µm elmas süspansiyon kullanarak parlatılmıştır. Kaplamalar mikroemülsiyon yöntemi ile üretilmiş ve askıda nano hidroksiapatit parçacıkları içeren su bazlı süspansiyon içinde gerçekleştirilmiştir. Üretilen süspansiyon saf su ile tamamlanmış ve ultrasonik banyoda 30 dk karıştırılmıştır. Akabinde süspansiyon uygulanacak beş farklı kaplama süresi için 5 ayrı behere eşit olacak şekilde bölünmüştür. Her kaplama numunesi için ayrı süspansiyon kullanılmış kaplama işleminden önce süspansiyonlar tekrar 15 dk ultrasonik banyoda karıştırılmıştır. 50 ml süspansiyon içinde yaklaşık 0,2 g nano HAp parçacığı bulunmaktadır. Kaplama işleminde negatif karşı elektrot olarak parlatılmış 304 L çelik kullanılmıştır. HAp parçacıklarını içeren süspansiyona kaplamanın yapılacağı altlık malzeme pozitif Ti6Al4V elektrot ve karşı negatif elektrot 304L birbirine paralel olacak şekilde karşılıklı daldırılmış ve aralarındaki mesafe 1 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. DC güç kaynağı kullanarak; 60 volt'luk sabit bir gerilim altında 5, 10, 15, 20 ve 30

dakikalık farklı sürelerde ve manyetik karıştırıcı üzerinde 50 rpm hızda süspansiyonda dalgalanma oluşturmayarak kontrollü bir şekilde kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. EPD yöntemi ile kaplanan numuneler oda koşullarında 24 saat kurumaya bırakılmıştır.

## 2.3. Elektroforetik Kaplamaların Sinterlenmesi

Kaplaması tamamlanan numuneler Şekil 5'de gösterilen vakum destekli "DİEX" marka tek eksenli sıcak pres cihazında numune yüzeyine herhangi bir basınç uygulanmadan sinterlenmiştir. Numuneler grafit bir pota içine, pota kenarlarına temas etmeyecek şekilde yerleştirilmiş ve vakum altında ( $10^{-4}$  mbar) ve 1000 °C' de 20 dakika'lık süre ile sinterlenmiştir.



Şekil 5. Tek eksenli sıcak pres sinterleme.

## 2.4. Karakterizasyon

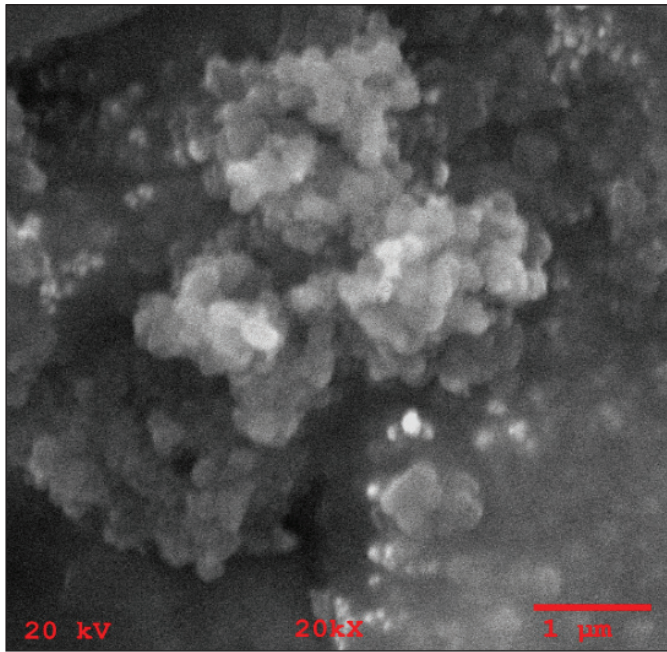
Kurutulan HAp nanoparçacıklarının ve Ti6Al4V altlığı üzerine farklı sürelerde elektroforetik kaplama yöntemi ile kaplanıp sinterlenen numunelerin kristal faz analizleri "Rigaku SA-HF3" model X ışınları difraksiyonu (XRD) ile incelenmiş, ölçümleri oda sıcaklığında, 10° ile 80° 2 teta (θ) açıları arasında 1°/dk tarama hızında ve 40 kV/ 20 mA'da yapılmıştır.

Sentezlenen ve kurutulmuş hidroksiapatit nanoparçacıklarının, morfolojik özelliklerinin ve parçacık boyutlarının belirlenmesi amacıyla "JEOL 6060" model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile 20 kV hızlandırma voltajı, 20000x büyütme ve ikincil elektron görüntüleme modunda mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Ti6Al4V altlık malzemesi üzerine farklı sürelerde EPD yöntemiyle kaplanan nano hidroksiapatit numunelerinin sinterleme öncesi kaplama yüzeyinden aydınlık alan modunda ve sinterleme sonrası kesit bölgesinden karanlık alan modunda "Zeiss Axiotech"

marka ışık mikroskobu ile mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Kesit görüntüleri için sinterlenen numuneler ayrı ayrı bakalit kalıba alınmıştır. Her bir numune orta kısmından kesilip sırasıyla 600, 1000 ve 2000'lik SiC zımpara kâğıtları ile zımpalanmış ve 3 µm'lik elmas süspansiyon ile parlatılarak kesitten ışık mikroskobu incelemelerine hazır hale getirilmiştir.

### 3. Bulgular

Mikroemülsiyon yöntemi ile üretilen HAp parçacıklarının mikroyapısal özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş ve parçacık morfolojisinin küresel formda, boyutunun ise ağırlıklı olarak 20 -200 nm arasında olduğu Şekil 6' da gösterilmiştir (Telli 2019).



Şekil 6. Mikroemülsiyon ile üretilmiş hidroksiapatit'e ait ikincil elektron SEM görüntüsü.

Sentezlenen, yıkanan ve kurutulan nano HAp parçacıklarının XRD analizi yapılmış oluşan fazlar incelenerek HAp ve haricinde bir faz olup olmadığı belirlenmiştir. Nano HAp'a ait XRD paterni Şekil 7' de verilmiştir. XRD incelemelerinde çökelen HAp parçacıklarının kristalin olduğu, TCP gibi diğer fosfat gruplarına ait piklerin yer almadığı ve Şekil 7'de görülen pik pozisyonlarının standartlarda yer alan XRD paterni (JCPDS 09-0432) ile uyum içinde olduğu görülmektedir (Boujaady vd. 2016).

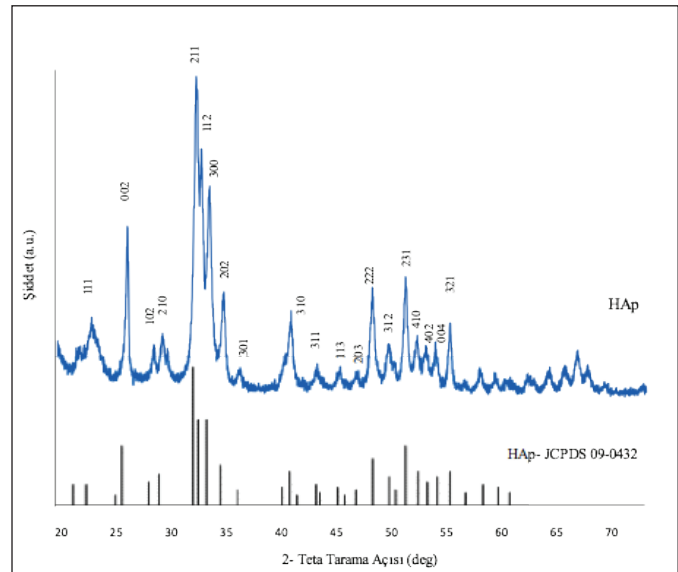
HAp nanotozlarının kristalin boyutu, Şekil 7'de verilen XRD paterninde yer alan ve (002) olarak indekslenmiş pik

pozisyonu ele alınıp, Debye Scherrer eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. XRD grafiğinde (002) indeksli pik üstüste binmiş piklerden oluşmayan tek bir piktir ve referans çalışmalarında göz önünde bulundurularak kristalin boyutu hesaplamak için bu pik tercih edilmiştir (Brundavanam vd 2013).

Debye Scherrer eşitliği (1) numaralı denklemde verilmiştir.

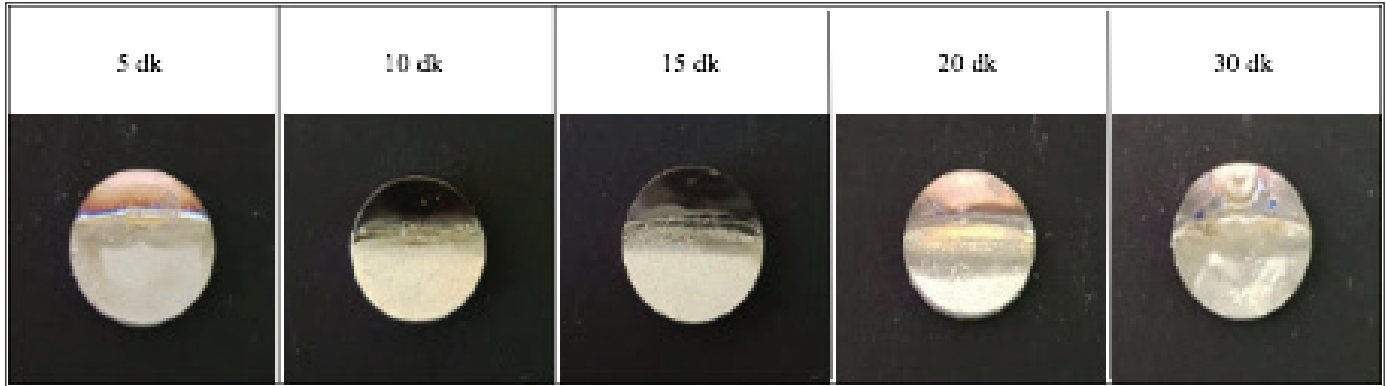
$$D = (k \cdot \lambda) / (\beta \cdot \cos \vartheta) \quad (1)$$

Burada D ortalama kristalin boyutu,  $\lambda$  kullanılan X ışını dalga boyu,  $\beta$  radyan cinsinden maksimum pik genişliğinin yarısının tam genişliği (FWHM),  $\vartheta$  Bragg kırınım açısıdır. Denklemde yer alan k değeri ise kristalin biçimine bağlı bir sabittir ve genellikle 0,9 olarak alınır. Debye Scherrer eşitliği kristalin boyutunu hesaplamada yaygın olarak kullanılan metotlardan biridir (Brundavanam vd. 2013). Bu eşitliğe göre; (002) düzlemindeki XRD pikine ait FWHM değeri kullanılarak hesaplanan kristalin boyu 27,20 nm'dir. Hesaplanan kristalin boyutu SEM görüntülerinde belirlenen tane boyutunun altındadır ve SEM sonuçları ile uyum içindedir (Sakae vd. 2017).

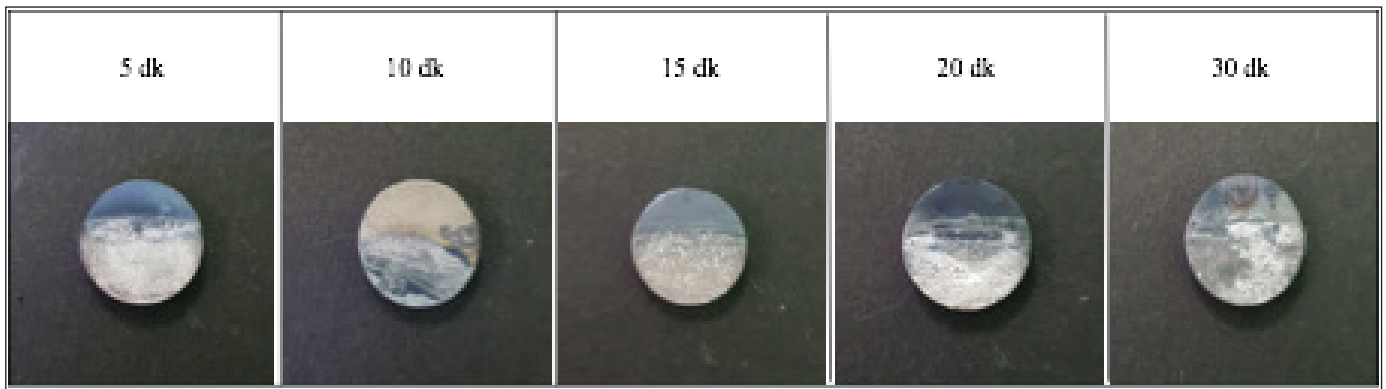


Şekil 7. Mikroemülsiyon yöntemi ile sentezlenip, su ile yıkanıp etüv fırında kurutulan HAp parçacıklarının XRD paterni.

Mikroemülsiyon yöntemi ile sentezlenen nano HAp parçacıkları kullanılarak; parlatılmış Ti6Al4V üzerine 60V'luk sabit bir gerilim altında 1 cm aralıkla ayrılmış elektrotlara 5,10,15,20 ve 30 dk'lık farklı sürelerde elektroforetik kaplamalar yapılmıştır. Şekil 8 ve 9'da sırasıyla numunelerin doğrudan sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası görüntü-



Şekil 8. Ti6Al4V parçalar üzerine farklı sürelerde uygulanan nano HAp parçacığının sinterleme öncesi elektroforetik kaplama görüntüleri.

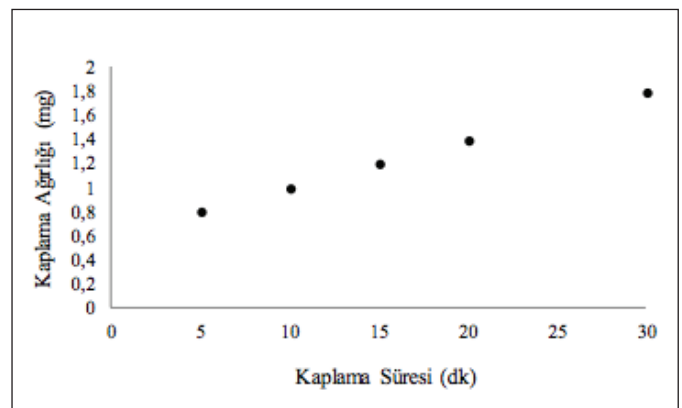


Şekil 9. Ti6Al4V parçalar üzerine farklı sürelerde uygulanan nano HAp parçacığının elektroforetik kaplamalarının sinterlenme sonrası görüntüleri.

leri siyah bir platform üzerinde ve oda koşullarında çekilerek verilmiştir. Gerçekleştirilen kaplamalar incelendiğinde herhangi bir çatlak oluşumu görülmemiştir. Ancak sinterleme esnasında kullanılan  $10^{-4}$  mbar'lık vakum seviyelerinde altlık malzeme olarak kullanılan Ti6Al4V'nin bir miktar oksitlendiği Şekil 9'da kaplamanın olmadığı üst bölgelerde daha belirgin olarak gözlemlenmiştir.

Hidroksiapatit kaplamaları ağırlıklarının, kaplama süreleriyle değişimi Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10'da kaplama süresinin artmasıyla, kaplama ağırlığının arttığı gözlemlenmiştir. Kaplama hızının ilk başta yüksek olmasının sonrasında azalmasının sebebi Ti6Al4V elektrot yüzeyin hidroksiapatit kaplanmasıyla beraber HAp parçacıkların yalıtıcı katman oluşturması ve uygulanan elektrik alanının azalmasıdır (Abdeltawap vd. 2011).

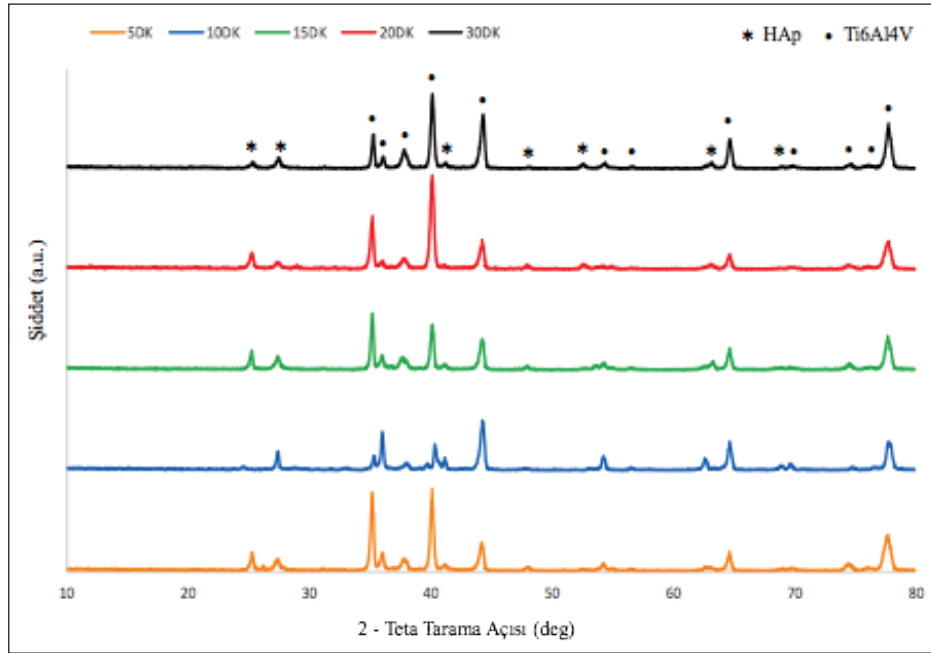
EPD yöntemi ile farklı sürelerde kaplanan ve  $1000^{\circ}\text{C}$ 'de sinterlenen numunelere ait XRD paterni Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 11'de Ti6Al4V üzerine HAp kaplamalarına ait pik pozisyonlarının standartlarda yer alan HAp ve Ti6Al4V XRD paternleriyle (JCPDS 09-0432 ve PDF 00-



Şekil 10. Elektroforetik biriktirme yöntemiyle kaplanmış hidroksiapatit kaplama ağırlıklarının, kaplama süreleriyle değişimi.

044-1294) ile uyum içindedir (Wysocki vd. 2017). Bunun dışında hidroksiapatitin bozumuna yönelik Trikalsiyumfosfat (TCP) gibi herhangi bir ikincil faz oluşumuna yönelik pikler gözlemlenmemiştir.

Ti6Al4V üzerine HAp kaplamaları yapılan numunelerin sinterlenme öncesi ve sonrası ışık mikroskobu (aydınlık



Şekil 11. 5, 10, 15, 20 ve 30 dk elektroforetik kaplamaları yapılan ve sinterlenen numunelere ait XRD patterni.

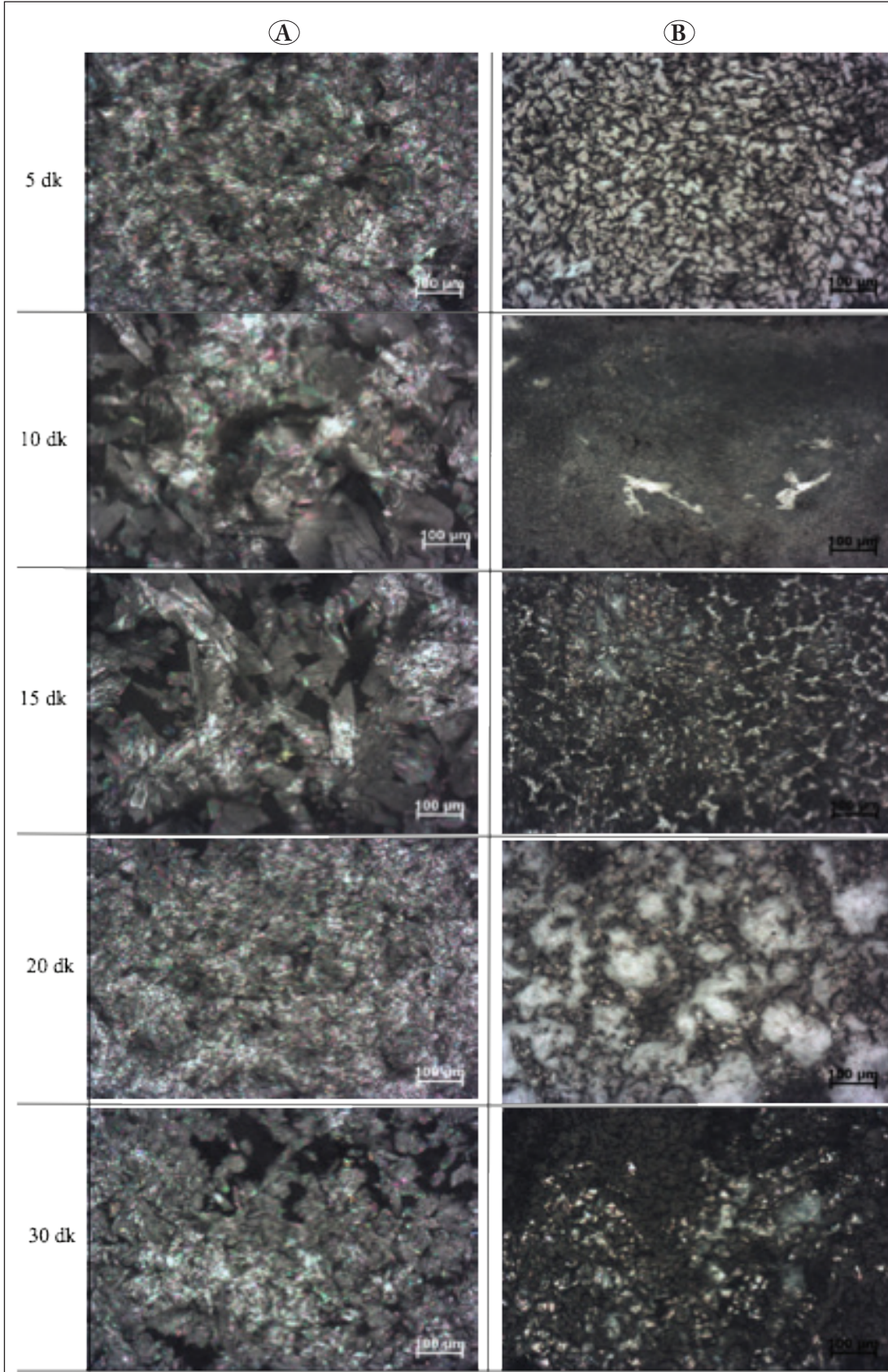
alan) görüntüleri Şekil 12'de verilmiştir. Işık mikroskobu görüntüleri incelendiğinde, numunelere ait kaplama öncesinde gözlemlenen mikroyapıların, sinterleme sonrasında değiştiği gözlemlenmiştir. Buna ek olarak kaplama süresindeki artış ile kaplamanın mikroyapısında değişimler de söz konusudur. Sinterleme sırasında yüzey aktif maddenin kaplamadan uzaklaşması, hidroksiapatit parçacıkların birbirine ve altık malzemesine bağlanmaları ve kullanılan vakum değerlerinde altığın oksitlenmesi oluşan mikro yapıları etkileyebilecek önemli parametrelerdir.

Şekil 13' de verilen 5 ve 30 dk kaplama yapılan numunelerin kesitten alınmış ışık mikroskobu karanlık alan görüntüleri incelendiğinde; nano HAp parçacıklarının altlığı homojen bir şekilde kapladığı ve kaplama süresinde artışla kaplama kalınlığının arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kaplama yapılan numunelerin ortalama kaplama kalınlığı 2,5 ve 6 µm arasında değiştiği Şekil 13'de görülmektedir.

#### 4. Tartışma

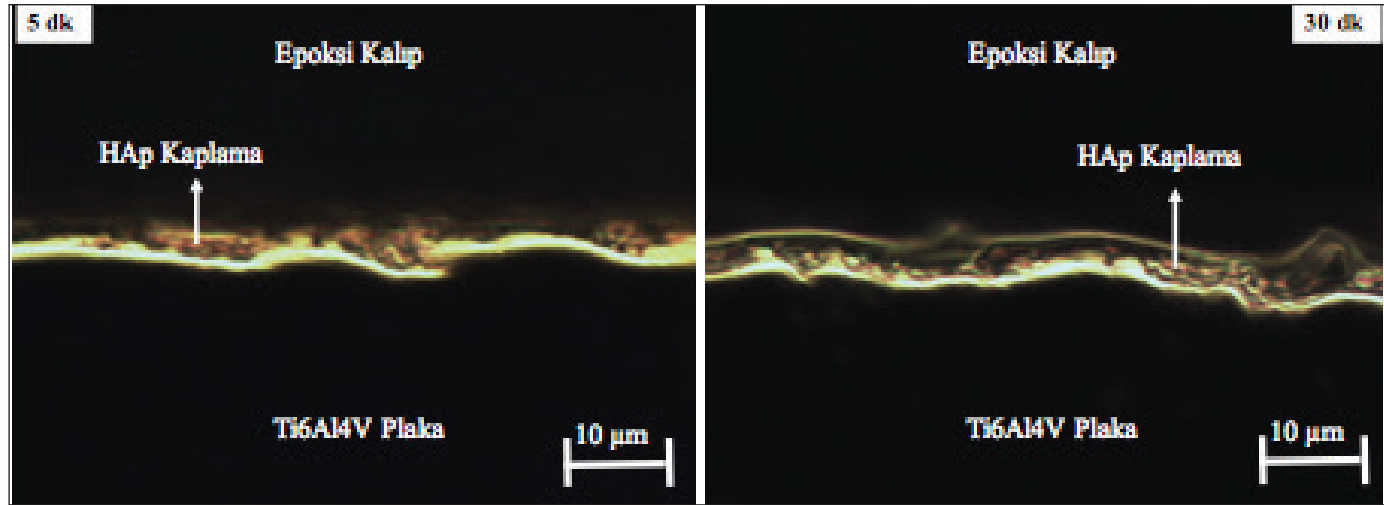
Nano boyutta hidroksiapatit parçacıkları mikroemülsiyon tekniği kullanılarak sentezlenmiş ve elektroforetik kaplama yöntemiyle Ti6Al4V altlıklara başarıyla kaplanmıştır. Elde edilen nano HAp parçacığının XRD paterni incelendiğinde piklerin standartlarla (JCPDS 09-0432) yer alan karakteristik kırınım pikleri ile eşleştiği görülmüştür ve literatürde yer alan hidroksiapatit XRD analizleri ile paralellik içerisinde olduğu belirlenmiştir (Boujaady vd. 2016). Ayrıca Scherrer eşitliği kullanılarak HAp XRD paterninden kristalin boyutu

27,20 nm olarak hesaplanmıştır. İncelenen SEM görüntülerinde ise nano hidroksiapatit parçacıklarının büyüklüğünün 200 nm' nin altında olduğu ve küresel morfolojiye sahip olduğu belirlenmiştir. Scherrer eşitliğinden hesaplan Kristalin boyutunun SEM ile görüntülen tane boyutunun altında kalması neticenin uyumlu olduğunu göstermektedir (Sakae vd. 2017). Ma ve arkadaşları (2016) oda sıcaklığında mikroemülsiyon tekniği ile HAp sentezlemiş ve parçacık boyutunun 100 nm altında olduğunu belirlemiştir (Ma vd. 2016). Ancak bu çalışmada kullanılan yüksüz Span-80 isimli yüzey aktif madde elektroforetik kaplama çalışmalarında doğrudan kullanıma olanak vermemekte ve sisteme yüklü ikinci bir yüzey aktif madde eklenmesini gerektirmektedir. Bu nedenle gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada toz sentezinde yüklü yüzey aktif madde (SDS) kullanımı tercih edilmiştir. HAp çeşitli tekniklerle sentezlenebilmektedir. Örneğin; Jamil ve arkadaşları (2018), HAp üretiminde, kalsiyum ve fosfat içeren öncü reaktifler karıştırmış ve daha sonra belirli bir süre boyunca yüksek sıcaklıklarda (yaklaşık 1000°C) kalsine etmiştir. Bu işlem sonucunda nihai üründe ikincil fazların olduğu gözlemlenmiş ve yüksek ateşleme işlemi ile bu fazlar giderildiğini belirtmiştir (Jamil vd. 2018). Koutsopoulos 2002'de kimyasal çökeltme işlemi ile düzgün morfolojiye sahip HAp sentezlemiş ancak işlem sonunda yapıda klor varlığından kaynaklanan çeşitli fazlar içeren stokiometrik olmayan ürünlerin oluştuğunu belirtmiştir (Koutsopoulos 2002). Bu çalışmada ise; mikroemülsiyon yöntemi ile üretilen HAp; oda sıcaklığında üretilmiş ateş-



Şekil 12. A) Sinterleme öncesi ve B) Sinterleme sonrası 10x ışık mikroskobu görüntüleri.





Şekil 13. 5 ve 30 dk kaplanan numunelerin sinterleme sonrası kesitten 50x büyütmede ışık mikroskobu (karanlık alan) görüntüleri.

leme gibi herhangi bir ilave işlem gerektirmemiş ve yapıda ikincil faz oluşumu gözlemlenmemiştir. Nano boyutta toz sentezlemek için bir mikro reaktör ortamı oluşturan bu yöntem ile sonrasında gerçekleştirilen elektroforetik kaplama işlemi kolaylaşmıştır. Elektroforetik kaplamalarda toz boyutu ve morfolojisi önemli bir etkidir. Örneğin; Wei ve arkadaşları (2005), kaplamalarda nanopartiküllerin kullanılmasının seramik kaplamaların üretimi için avantajlar sunduğunu ve sinterleme davranışını kontrol etmede önemli bir faktör olduğunu belirtmiştir (Wei vd. 2005). Ayrıca mikroemülsiyon yöntemi sentezlenen hidroksiapatit nano parçacıkları, yüklü bir yüzey aktif madde kullanımı nedeniyle doğrudan elektroforetik kaplama deneylerine su bazlı süspansiyon olarak kullanılmıştır. Kaplama işlemi manyetik bir karıştırıcı üzerinde süspansiyonda düşük hızda (50 rpm) yapılmış ve kaplamanın yüzeyde homojen bir şekilde gerçekleşmesi sağlanmıştır. Elektroforetik deneyler, hidroksiapatit parçacıklarının kullanılan negatif yüklü yüzey aktif madde (SDS) nedeniyle negatif olarak yüklendiğini ve uygulanan elektrik alan altında pozitif elektroda doğru hareket ettiğini göstermiştir. Kaplama ağırlıkları ve kalınlıklarının, kaplama süresindeki artışla arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kaplama süresindeki artış ve sinterlemeyle kaplama mikroyapılarının değiştiği gözlemlenmiştir. Sinterleme işlemi esnasında kullanılan vakum seviyelerinde ( $10^{-4}$  mbar) Ti6Al4V altlığın oksitlenebildiği bu durumun kaplama kalitesini ve morfolojisini etkileyebileceği gözlemlenmiştir.

## 5. Teşekkürler

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi (Proje No: 2019/70) tarafından desteklenmiştir.

## 6. Kaynaklar

- Abdeltawap, A., Shoeib, M., Mohamed, S. 2011.** Electrophoretic deposition of hydroxyapatite coatings on titanium from dimethylformamide suspensions. *Surf. Coat. Tech.* 206: 43-50. Doi: 10.1016/j.surfcoat.2011.06.034
- Ahn, E., Gleason, N., Nakahira, A., Ying, J. 2001.** Nanostructure processing of hydroxyapatite based bioceramics. *Nano Lett.* 1: 149-153. Doi: 10.1021/nl0055299
- Amrollahia, P. 2015.** Electrophoretic deposition (EPD): Fundamentals and applications from nano- to micro-scale structures. *Springer, Germany.* pp. 1-27. Doi: 10.1007/978-3-319-15207-3\_7-1
- Ashok, G., Tokeer, A., Sonalika, V., Jahangeer, A. 2008.** Microemulsion route to the synthesis of nanoparticles. *Pure Appl. Chem.* 80: 2451-2477. Doi: 10.1351/pac200880112451
- Augello, C., Liu, H. 2015.** Surface Modification of magnesium by functional polymer coatings for neural applications. *Woodhead Publ. Ser. Biomater.* 2: 335-353. Doi: 10.1016/B978-1-78242-078-1.00012-8
- Besra, L., Liu, M. 2007.** A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD). *Prog. Mater. Sci.* 52: 1-61. Doi: 10.1016/j.pmatsci.2006.07.001
- Boccaccini, A., Keim, S., Ma, R., Li, Y., Zhitomirsky, I. 2010.** Electrophoretic deposition of biomaterials. *J. R. Soc. Interface.* 7: 581-613. Doi:10.1098/rsif.2010.0156.focus.
- Boujaady H., Maurabet, M., Taitai, A. 2016.** Adsorption of a textile dye on synthesized calcium deficient hydroxyapatite (CDHAp): Kinetic and thermodynamic studies. *J. Mater. Environ. Sci.*, 7: 4049-4063.

- Brundavamam, A., Poinern, G., Fawcett, D., 2013.** Modelling the crystal structure of a 30 nm sized particle based hydroxyapatite powder synthesised under the influence of ultrasound irradiation from x-ray powder diffraction data. *Am. J. Mater. Sci.* 4: 84-90. Doi: 10.5923/j.materials.20130304.04
- Bulut, B. 2014.** Ticari İner Cam Katkılı Hidroksiapatit-Alümina ve Hidroksi-apatit-Zirkonya Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 130s.
- Chen, F., Liu, M. 2001.** Preparation of yttria-stabilised zirconia (YSZ) films on La<sub>0.85</sub>Sr<sub>0.15</sub>mno<sub>3</sub> (LSM) And LSM-YSZ substrate using an electrophoretic deposition (EPD) process. *J. Eur.*, 21: 127-34. Doi: 10.1016/S0955-2219(00)00195-3
- Corni, I., Ryan, M., Boccaccini, A. 2008.** Electrophoretic deposition: from traditional ceramics to nanotechnology. *J.Eur.* 28:1353-1367. Doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2007.12.011
- Ghosh, P., Kar, B., Bardhan, S., Kundu, K., Saha, S., Paul, B., Das, S. 2016.** Microemulsion mediated organic synthesis and the possible reaction site. *J. Surf. Sci. Tech.* 32: 1-2. Doi: 10.18311/jsst/2016/6596
- Gomes, D., Santoz, A., Neves, G., Menezes, R. 2019.** A brief review on hydroxyapatite production and use in biomedicine. *Cerâmica*, 65: 282-302. Doi: 10.1590/0366-69132019653742706
- Jamil, M., Elouatli, B., Khallok, H., Elouahli, A., Gourri, E., Ezzahmouly, M., Abida, F., Hatim, Z. 2018.** Silicon substituted hydroxyapatite: preparation with solid-state reaction, characterization and dissolution properties. *J. Mater. Environ. Sci.* 9: 2322-2327.
- Juliadmi, D., Fauzi, V., Gunawarman, G., Nur, H. 2017.** Hydroxyapatite coating on titanium alloy Ti-6Al-4V with electrophoretic deposition (EPD) for dental root application. *IJASEIT*. 7: 2152-2158. Doi: 10.18517/ijaseit.7.6.3497
- Khan, B., Akhtar, N., Khan, H., Waseem, K., Mahmood, T., Rasul, A., Iqbal, M., Khan, H. 2011.** Basics of pharmaceutical emulsions: A review. *Afr. J. Pharm. Pharmacol.* 5: 2715-2725. Doi: 0.5897/AJPP11.698
- Khan, M., Karim, Z., Hagos, F., Aziz, A., Tan, A. 2014.** Current trends in water-in-diesel emulsion as a Fuel. *Sci. World J.* 2014: 1-15. Doi: 10.1155/2014/527472
- Koutsopoulos, S. 2002.** Synthesis and characterization of hydroxyapatite crystals: A review study on the analytical methods. *Periodicals*. 62: 600 612. Doi:10.1002/jbm.10280
- Ma, X., Chen, Y., Qian, J., Yuan, Y., Liu, C. 2016.** Controllable synthesis of spherical hydroxyapatite nanoparticles using inverse microemulsion method. *Mater. Chem. Phys.* 183: 220-229. Doi: 10.1016/j.matchemphys.2016.08.021
- Mena, F. 2014.** Emulsions systems for skin care: From macro to nano-formulations. *J. Pharm. Care Health Syst.* 1: 1-2. Doi: 10.4172/jpchs.1000e104
- Olteanu, N., Petcu, A., Lazar, C., Meghea, A., Rogozea, E., Mihaly, M. 2015.** Combined soft nanotechnology methods-as versatile tools for designing templated nanostructures to obtain optically active materials. *Display and Imaging*, 2: 135-169.
- Rujitanapanich, S., Kumpapan, P., Wanjanoi, P. 2014.** Synthesis of hydroxyapatite from oyster shell via precipitation. *Energy Procedia*, 56: 112-117. Doi: 10.1016/j.egypro.2014.07.138
- Ruys, A.J., Wei, M., Sorrel, C., Dickson, M., Brandwood, A., Milthorpe, B. 1995.** Sintering effects on the strength of hydroxyapatite. *Biomaterials*, 16: 409-415. Doi: 10.1016/0142-9612(95)98859-C
- Sakae, T., Kono, T., Okada, H., Nakata, H., Ogawa, H., Tsukioka, T., Kaneda, T., 2017.** X-ray micro-diffraction analysis revealed the crystallite size variation in the neighboring regions of a small bone mass. *J Hard Tissue Biol.* 1: 103-107. Doi: 10.2485/jhtb.26.103
- Tassel, J., Randall, C. 2006.** Mechanisms of electrophoretic deposition. *Key. Eng. Mater.* 314: 167-174. Doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.314.167
- Telli, M. B. 2019.** Mikro Emülsiyon Tekniği İle Nano Hidroksiapatit Üretimi. Imascon Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi, s. 1795-1801, Kocaeli.
- Wei, M., Ruys, A., Milthorpe, B., Sorrel, C. 2005.** Precipitation of hydroxyapatite nanoparticles: Effects of precipitation method on electrophoretic deposition. *J. Mater. Sci. Mater. Med.* 6: 319 - 324. Doi:10.1098/rsif.2010.0156.focus
- Wysocki, B., Maj, P., Sitek, R., Buhagiari, J., Kurzydowski, K., Swieszkowski, W. 2017.** Laser and electron beam additive manufacturing methods of fabricating titanium bone implants. *Appl. Sci.* 7: 657-676. Doi: 10.3390/app7070657



# Rüzgar Enerjisi Santral (RES) Yapım Yerlerinin CBS Dayalı Çok Kriterli Karar Analizi ile Belirlenmesi: Yenice İlçesi (KARABÜK) Örneği

*GIS-Based Analysis of Sites Determination for Wind Power Plant (WPP) by Multi-Criteria Decision Analysis: A Case Study in Yenice District (KARABUK)*

Deniz Arca<sup>1\*</sup>, Hülya Keskin Çıtıröğlü<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir MYO, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup>Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı, YİKOB, Aydın, Türkiye

## Öz

Endüstrinin hızla gelişmesi ve dünyamızın mevcut enerji kaynaklarının yetersizliği, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi gün geçtikçe daha da arttırmıştır. Türkiye'nin hızlı sanayileşme ve hızlı nüfus artışı enerji talebinde de artışa yol açmıştır. Bu nedenle Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin belirlenmesi ve ekonomiye kazandırılması gerekmektedir. Bu amaçla yenilenebilir enerji türlerinden biri olan rüzgar enerjisi üzerinde durulmuş, enerji üretim miktarlarının doğru verilere dayalı hesaplanması ve rüzgar enerjisi santralleri (RES) için en uygun yerlerin seçilmesinin, rüzgar enerji santrallerinin ülke ekonomisine katkı sağlaması için oldukça önemli olduğu görülmüştür. Bu çalışmada Karabük iline bağlı Yenice ilçesinde uygun RES yapım yerleri seçiminin Coğrafi Bilgi Sistemlerine dayalı Çok Kriterli Karar Analizi (CBS-ÇKKA) yöntemi kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanının RES yapımı için düşük ve orta duyarlılık düzeyinde olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), Çok kriterli karar analizi (ÇKKA), Rüzgar enerjisi, Yenice

## Abstract

The rapid development of the industry and the inadequacy of the world's existing energy resources have increased the interest in renewable energy sources day by day. The fast industrialization and rapid population growth in Turkey raised the demand also for energy resources. Therefore it is necessary to determination of Turkey's renewable energy potential and to enhance the contribution of this renewable energy potential to the economy. In this study, wind energy, one of the renewable energy types, was emphasized. Calculating energy production amounts based on accurate data and determining the most suitable location for wind power plants (WPPs) is very important for wind power plants to contribute to the country's economy. In this study, it was aimed to determine the selection of suitable WPP construction sites in Yenice district of Karabük province using Geographic Information Systems based Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) methods. According to the results obtained, it was determined that the study area is at low and medium sensitivity level for RES construction.

**Keywords:** Geographical information systems (GIS), Multi-criteria decision analysis method (MCDA), Wind power, Yenice

## 1. Giriş

Enerji kaynakları nükleer, fosil ve yenilenebilir kaynaklar olmak üzere 3 ana gruba ayrılmaktadır. Dünya elektrik üretiminde yenilenebilir enerji önemli bir yere sahiptir. Toplam küresel elektrik üretiminin yüzde 26,2'si yenilenebilir kaynaklardan elde edilirken bu oranının sadece yüzde 5,5'i rüzgar santrallerinden sağlanmaktadır (REN21

2019). Türkiye'de ise elektrik üretiminde kömür ve doğal gaz kaynaklarının üstünlüğü bulunmaktadır. Ülkemiz toplam elektrik üretiminin yüzde 35,2'si yenilenebilir kaynaklardan elde edilirken bu oranının sadece yüzde 5,6'sı rüzgar santrallerinden sağlanmaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2016). Türkiye, coğrafi konumu ve jeolojik yapısı nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülke olup, bu kaynaklardan yüksek seviyede yararlanılması hem enerji arz güvenliğine hem de yeni istihdam alanlarının oluşumuna katkı sağlayacaktır (Dikmen 2019).

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [deniz.arca@deu.edu.tr](mailto:deniz.arca@deu.edu.tr)

Deniz Arca [orcid.org/0000-0002-0439-4938](https://orcid.org/0000-0002-0439-4938)

Hülya Keskin Çıtıröğlü [orcid.org/0000-0002-2999-9570](https://orcid.org/0000-0002-2999-9570)

Enerji kaynaklarının yetersizliği, insanlığı, ülkemizde de yaygın olarak kullanılan, güneş ve rüzgar enerjisi başta olmak üzere alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmiştir (Şahin vd. 2019). Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisi, fosil yakıtlardan tasarruf sağlayan ve ticari bakımdan en ucuz enerji türüdür. Teknolojinin gelişmesi ile kurulum ve işletim maliyetinin düşmesi, sürekli olması ve insan sağlığı ile uyumlu bir enerji kaynağı olmasından dolayı rüzgar, günümüzde en çok tercih edilen enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir (Bayraç 2011).

Enerji türleri arasında önemli bir paya sahip olan sürdürülebilir elektrik enerjisi üretiminde, fosil yakıtlar yerine rüzgar enerjisinin kullanılması alternatif enerji kaynakları arasında en önemli rolü oluşturmaktadır. Rüzgar enerjisi santrali (RES) projelerinin daha verimli ve sürdürülebilir olabilmesi için, rüzgar enerjisi santrallerinin kurulması tercih edilen alanların uygunlukları da çok önemlidir (Can 2019). RES kurulumunda rüzgar türbinlerinin yerleşimi RES'in üretim potansiyelini etkilemekte, rüzgar türbinlerinin uygun şekilde yerleştirilmesi RES'in üretim miktarının artmasını sağlamaktadır (Çelik vd. 2018). Rüzgar enerjisi santrallerinin (RES) ekonomiye katkı sağlayabilmesi için sürekli rüzgar alan bölgelere kurulması gerekmektedir. RES kurulacak yerlerin belirlenmesi için bilinmesine gerek olan saatlik ve ortalama rüzgar hızları, meteoroloji istasyonlarından temin edilmektedir. RES yerlerinin planlanmasında rüzgar atlasları kullanılmakla birlikte atlaslar tek başına yer seçimi için yeterli değildir. Bu nedenle RES yer seçimlerinde daha detaylı çalışmalar ve ölçümlerin yapılması büyük önem taşımaktadır (Acar ve Doğan 2008). Aras (2003), Oğulata (2003), Sözen vd. (2015), Önal ve Yarbay (2010) Türkiye'nin rüzgar enerji potansiyeli, kullanımı ve değerlendirilmesi üzerine çalışmış ve rüzgar enerjisi kullanımının artarak devam etmesi gerekliliği üzerinde durmuşlardır. Hepbaşlı ve Özgener (2004) Türkiye'de rüzgar enerjisi potansiyelinin ümit verici olduğunu ve ayrıca kullanımında artış olduğunu ortaya koymuşlardır. Doğancı vd. (2016) çalışma alanının yer aldığı Batı Karadeniz bölgesinde yapay sinir ağları kullanarak rüzgar enerjisi tahmin çalışması yapmıştır. Akpınar ve Balpetek (2019) Elazığ ilinin rüzgar enerjisi potansiyelini inceledikleri çalışma sonucunda, rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin daha çok şebeke erişimi bulunmayan veya kırsal alanlarda düşük güç yoğunluğu gerektiren uygulamalarda kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Dikmen ve Örgen (2018) Ağlasun Bölgesi'nin (Burdur) rüzgar enerji potansiyelinin Türkiye ortalamasının üzerinde olduğunu, Pusat (2017) ise Sakarya

Üniversitesi ve etrafının rüzgar enerjisi potansiyelini değerlendirdiği çalışma sonucunda bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin genel olarak düşük olduğunu tespit etmiştir. Erduman vd. (2018) İstanbul'un Bakırköy İlçesinde bulunan Bakırköy Botanik Parkı'na kurulması planlanan rüzgar türbinlerine ait teknik ve ekonomik fizibilite çalışmasını gerçekleştirilmiştir. Can (2019) elektrik enerjisi üretimi için planlanan rüzgar santrali projelerine yönelik FMEA (arıza modu etki analizi) ve sistematik Pareto analizi kullanarak çevresel alan modellerinin üretilmesi üzerinde çalışmıştır.

Karabük İli'nde yer alan 16 hidroelektrik santrali (HES) projesinin toplam kurulu gücü 202,968 MW, enerji üretimi 666,823 GWH/yıldır (Karabük Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü 2019). Bununla birlikte Karabük İlinde Yağmur RES Enerji tarafından 30 MW gücünde Karabük Rüzgar Enerji Santrali ön lisansı alınmış olmakla birlikte halen devreye alınmış aktif rüzgar santrali bulunmamaktadır (Enerji Atlası 2020). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün illere kurulabilecek RES'lerin toplam alan ve kurulu güç verilerine göre Karabük İli 14,67 km<sup>2</sup> toplam alan ve 73,36 MW kurulu güç kapasitesine sahiptir (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü 2020a). Bu çalışma ile Karabük İlinin sahip olduğu RES kurulu güç kapasitesi dikkate alınarak mevcut hidroelektrik santrallerine (HES) ek olarak yine yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisinden yararlanılabilmesi için Yenice İlçesi örneğinde uygun RES alanların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Karabük iline bağlı Yenice ilçesinde potansiyel RES kurulumu için uygun yer seçimi, çoklu seçim kriterlerinin yönetilmesinde faydalı çözüm üreten bir sistemden meydana gelmesi sebebiyle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı çok kriterli karar verme analizi yöntemi ile oluşturulmuştur. Bu bağlamda veri katmanları olarak; rüzgar hızı, yükseklik, eğim, bakı, yola olan uzaklık, akarsuya olan uzaklık, fay hatlarına uzaklık, litoloji, arazi kullanımı ve trafoya olan uzaklık faktörleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm faktörler CBS yazılımı kullanılarak raster yapıda üretilmiş ve ikili karşılaştırma matrisi ile her bir faktörün ağırlık değerleri belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra birleştirme analizi ile sınıflandırılmış ölçüt haritaları birleştirilerek RES için en uygun alanları gösteren uygunluk sonuç haritası elde edilmiştir.

Temiz enerjinin arz güvenliğinin ana unsuru haline getirilmesine yönelik öneriler (Yılmaz ve Can Özçiç 2018) de dikkate alındığında Yenice ilçesinde fosil yakıt kullanımının devam edilmesiyle birlikte en azından başlangıç için konutların enerji ihtiyacının bile başta rüzgar enerjisi olmak



Genel Müdürlüğü 2020a) haritasından faydalanılmıştır. Bu haritaya göre çalışma alanı rüzgar hız dağılımı 5-5,50 m/s olarak belirlenmiştir (Şekil 2a).

RES yapım yeri seçiminde arazi kullanım özellikleri etkili bir parametredir. İnsan ve doğal etkenlerden etkilenen ve kolayca değişime uğrayan toprak hidrolojisini içinde barındıran arazi kullanım yoğunluğu (Yalçın vd. 2011) RES yapım yeri seçiminde dikkate alınması gereken bir faktördür. Çalışma alanına ait genel arazi kullanım haritası Şekil 2b de verilmiştir.

Rüzgar hızı yüksekliğe göre artma veya azalma gösterdiğinden dolayı rüzgar enerji santrallerinin yapım yeri seçiminde yükseklik önemli bir faktördür (Nişancı vd. 2010, Uyar 1985, Tağlı 1995, Ültanır 1996, Koç 1996). Rüzgar tarlaları son yıllarda dünyada ve Türkiye'de deniz seviyesindeki alanların yanı sıra yüksek rüzgar hızı kapasitesine sahip dağlık bölgelerde de kurulmaya başlamıştır (Bingöl 2018). Çalışma alanına ait yükseklik haritası bölgenin 10 m çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modelinden üretilmiştir. Üretilen harita analizlerde kullanılmak üzere 0-800 m aralığında 8 eşit zona sınıflandırılmıştır (Şekil 2c).

Topografyanın eğim özellikleri de RES yapım yeri seçiminde etkili olan faktörlerden biridir. Düşük ve orta eğim sınıfları RES yapımına en uygun eğim sınıflarıdır (Özşahin ve Kaymaz 2013). Çalışma alanına ait eğim verisi bölgeye ait sayısal yükseklik modelinden üretilmiştir. Üretilen eğim haritasının eğim derecesi 0 ile 50 derece aralığında elde edilmiştir ve analizler için 10 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 2d).

Arazi yüzeyinin yönünü gösteren ve yüzeyin herhangi bir noktasındaki teğet düzleminin baktığı yön ile ifade edilen bakı RES yapım yeri seçiminde etkili bir diğer faktördür. Hakim rüzgar yönüne bakan yamaçlar RES yapımı için uygun alanlardır (Özşahin ve Kaymaz 2013). Bu nedenle çalışmada -1 ve 360 derece aralığında 10 sınıfı kapsayacak şekilde bakı haritası oluşturulmuştur (Şekil 2e).

Yol hatlarına uzaklık da RES yapım yeri seçimi için etkili bir parametredir. Ulaşım imkanları rahat ve kolay olan sahalar RES kurulumu için tercih edilen alanlardır (Uyan 2017). Çalışma alanının da yol hatlarına uzaklık faktörü 7 sınıf altında değerlendirilmiştir (Şekil 2f).

Litolojik yapı özellikleri RES'lerin yapım yeri seçiminde etkili olan bir diğer faktördür. RES'lerin dayanıklı kayaçların bulunduğu zeminlere kurulması gerekmektedir (Mora ve Vahrson 1994). Çalışma alanında; kıltaşı, marn, kireçtaşı ve şeyl gibi yerinde çökelmiş sedimanlarla kumtaşı,

kumlu kireçtaşı ve konglomera gibi türbiditik çökellerin araldanmasından oluşan ve çeşitli olistolitler içeren Ulus formasyonu (Ku) ve kil, mil, silt, kum, çakıl ve blok gibi malzemelerden oluşan kuvaterner yaşlı alüvyon (Qal) yer almaktadır (Alan ve Aksay 2002) (Şekil 2g).

Trafo merkezine uzaklık ekonomik yönden önemli olduğu için RES yapım yeri seçiminde gerekli parametrelerden bir başkasıdır. Trafo merkezlerine yakınlık arttıkça RES'lerin kurulumu daha ekonomik olacaktır. Trafo merkezlerine 10 km'yi geçen uzaklıklar RES yeri seçimi için uygun değildir (Uyan 2017) (Şekil 2h).

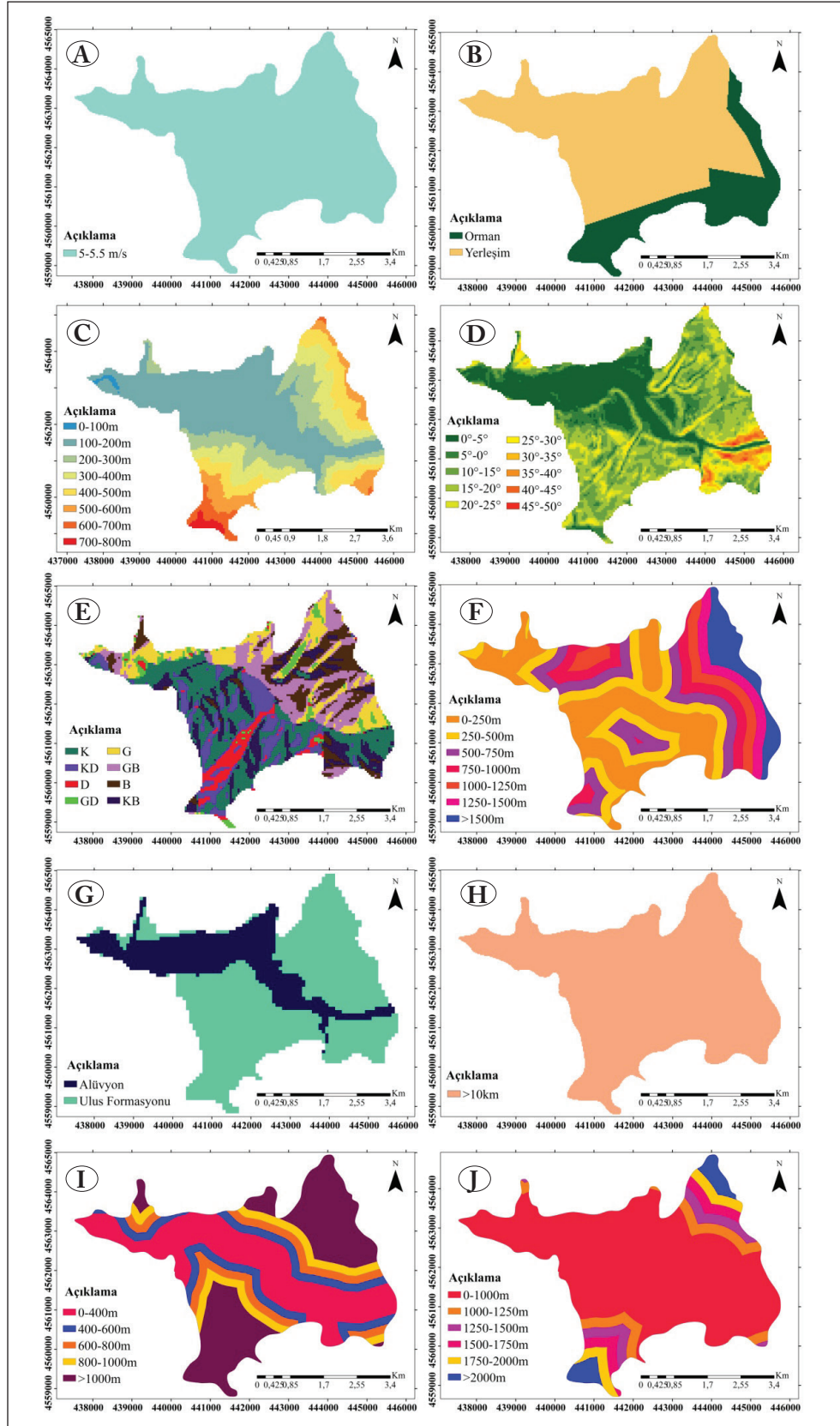
Akarsulara yakın alanlar RES kurulumu için uygun olmadığından RES yapım yeri seçiminde akarsulara olan uzaklıkta etkili bir faktördür (Kaymak 2020). Akarsulara yakın alanlar daha yoğun arazi kullanımı, tarımsal faaliyet, bitki örtüsü ve yerleşim alanı olma gibi özelliklere sahip olmasından dolayı RES yapım yeri olarak tercih edilmemektedir (Özşahin ve Kaymaz 2013). Çalışma alanında bulunan Yenice Irmağı, ilçe topraklarını iki parçaya bölecek şekilde yerleşim merkezinden geçmekte olduğundan akarsulara olan uzaklık parametresi analizde kullanılmıştır. Çalışma alanında akarsulara uzaklık faktörü 5 sınıf altında değerlendirilmiştir (Şekil 2i).

Aktif fay hatlarına yakınlık arttıkça deprem etkisi de daha fazla olacağından RES yapım yeri seçiminde aktif fay hatlarına uzaklık da yer seçim analizini etkileyici bir faktördür. Çalışma alanında aktif fay hatlarından uzaklık faktörü 0 ile 2000 m aralığında 6 sınıfı kapsayacak (Alan ve Aksay 2002) şekilde belirlenmiştir (Şekil 2j).

### 2.3. Yöntem

Bu çalışmada duyarlılık haritasının üretilmesi için CBS tabanlı çok kriterli karar verme analizi (ÇKKA) yöntemi kullanılmıştır. ÇKKA çözümünde ise Analitik Hiyerarşi (AHY) ve Ağırlıklandırılmış Doğrusal Birleştirme (ADB) yöntemleri kullanılmıştır.

AHY; birbiri ile çelişen ölçülebilir veya soyut ölçütleri dikkate alan, karar analizlerinde geniş uygulama alanı bulunan bir ölçme yöntemidir. AHY'de veriler kadar uzman kişilerin bilgi ve deneyimleri de dikkate alınmaktadır (Yıldırım ve Yomraloğlu 2013). AHY, karar vericinin tüm alternatiflerini tüm kriterler ile beraber değerlendirerek, birbirlerinin göreceli önemlerine göre ikili karşılaştırmalar yapması prensibine dayanmaktadır (Saraç ve Musaoğlu 2011). AHY ve diğer tüm yöntemlerde, araştırmacılar ellerindeki olanaklar dahilinde parametrik harita üretimlerini



Şekil 2. Çalışmada kullanılan parametreler. A) rüzgar hızı, B) arazi kullanımı, C) yükseklik, D) eğim, E) bakı, F) yola olan uzaklık, G) litoloji, H) trafo merkezine olan uzaklık, İ) akarsuya olan uzaklık, J) fay hatlarına uzaklık.

gerçekleştirmekte, ya deneme-yanılma yoluna giderek, ya da istatistiksel analizler veya deneyimleri doğrultusunda, duyarlılık analizlerinde kullanacakları parametreleri seçmektedirler.

AHY faktörlerin ikili karşılaştırılmaları ile başlamaktadır. İkili karşılaştırmanın yapılabilmesi için, Saaty (1977) tarafından önerilen AHY Değerlendirme Ölçeğinden (Çizelge 1) yararlanılarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

**Çizelge 1.** AHY değerlendirme ölçeği (Saaty 1977).

Önem Derecesi	Tanımlama
1	Eşit derece önemli
3	1. ölçüt 2.'ye göre biraz daha önemli
5	1. ölçüt 2.'ye göre fazla önemli
7	1. ölçüt 2.'ye göre çok fazla önemli
9	1. ölçüt 2.'ye göre olası en kuvvetli öneme sahip veya tercih ediliyor.
2,4,6,8	Ara değerler, uzlaşma gereken durumlarda kullanılmaktadır.

Karşılaştırma matrisi, her bir faktörün ağırlıklarını belirlerken aynı zamanda ağırlıkların tutarlılık oranlarının hesaplanmasını da sağlar (Saaty 1977). Rastgele oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin derecelendirmesindeki olasılık

tutarlılık oranı olarak tanımlanır. Maksimum tutarlılık oranı Saaty (1977) tarafından 0.10 olarak önerilmiştir. Eğer 0.10'un üstünde bir değer elde edilirse, ikili karşılaştırma matrisinin tekrar yapılması gerekmektedir.

Çok kriterli karar analizinin ilk adımı faktörlerin öznelitliklerinin normalleştirilmesidir. Ölçüt katmanları farklı değer aralıklarında ve ölçü birimlerinde olduğundan, ölçütleri bir arada işleme koyabilmek ve birbirleri ile karşılaştırabilmek için her katman 0-255 aralığında değerler alacak şekilde normalleştirilmiştir. Faktörlerin normalleştirilmesi aşamasından sonra her bir kriterin birbirlerine olan göreceli önemini tespiti için AHY uygulanmıştır. Oluşturulan karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Karşılaştırma matrisi sonucu elde edilen en yüksek ağırlığa sahip faktörler sırasıyla rüzgar hızı, arazi kullanımı, yükseklik, bakı, trafo merkezine uzaklık, eğim, litoloji, yola olan uzaklık, fay hatlarına uzaklık ve akarsuya olan uzaklık olarak belirlenmiştir. Oluşturulan karşılaştırma matrisindeki değerlerin ve elde edilen ağırlıkların tutarlı olup olmadıklarının belirlenmesi amacıyla hesaplanan "Tutarlılık oranı" (CR) değeri ise 0,09 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen oran Saaty (1977) tarafından önerilen 0.10'un altında olduğu için ikili karşılaştırma matrisi sonucu bulunan değerlerin birbirleriyle tutarlı oldukları kanaatine varılmıştır.

AHP ile ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması ve her bir kriterin ağırlıklarının hesaplanmasından sonraki

**Çizelge 2.** Karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri.

	Rüzgar Hızı	Arazi Kullanımı	Yükseklik	Bakı	Trafo Merkezine Uzaklık	Eğim	Litoloji	Yola Olan Uzaklık	Fay Hattına Uzaklık	Akarsuya Olan Uzaklık	Ağırlık
<b>Rüzgar Hızı</b>	1	2	4	4	6	8	5	7	7	7	0,28
<b>Arazi Kullanımı</b>		1	3	4	6	7	6	7	7	7	0,24
<b>Yükseklik</b>			1	2	4	5	3	5	6	5	0,13
<b>Bakı</b>				1	3	5	3	4	5	4	0,11
<b>Trafo Merkezine Uzaklık</b>					1	3	1/2	1/2	3	2	0,05
<b>Eğim</b>						1	3	2	4	3	0,05
<b>Litoloji</b>							1	2	3	2	0,06
<b>Yola Olan Uzaklık</b>								1	2	2	0,04
<b>Fay Hattına Uzaklık</b>									1	2	0,02
<b>Akarsuya Olan Uzaklık</b>										1	0,02



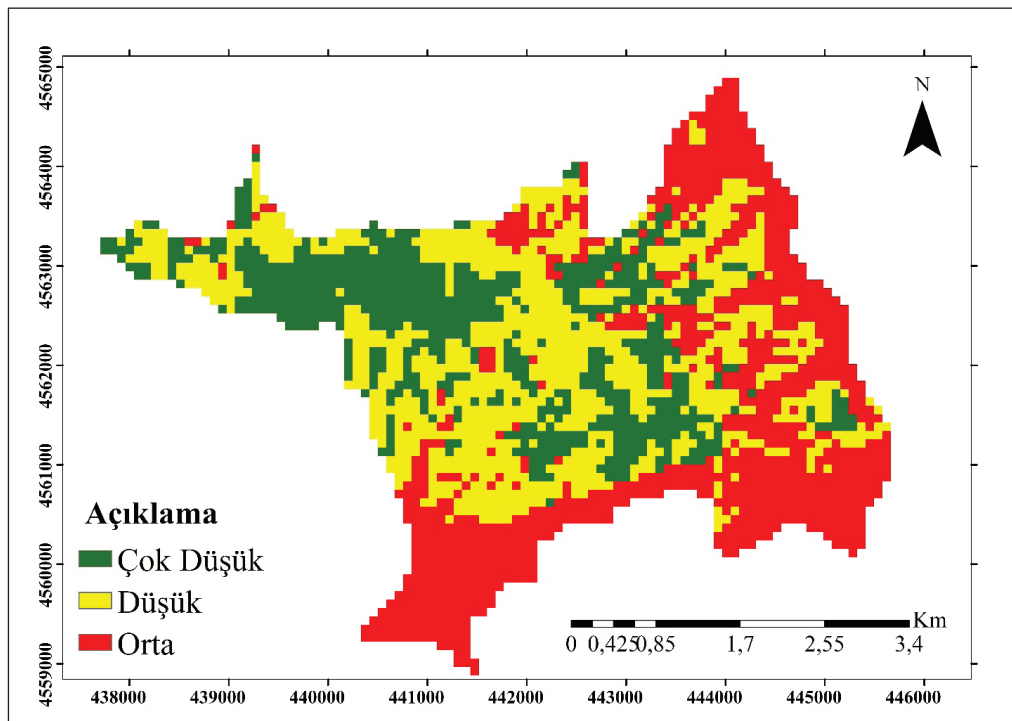
aşama ise, ağırlıklı doğrusal birleştirme (ADB) yöntemi kullanılarak tüm kriterlerin birbirleriyle birleştirilerek sonuç haritasının elde edilmesidir. Bu yöntemin kullanılmasının nedeni, her bir kriterin alt kriterlerinin standartlaştırılması ve standartlaştırılmış faktörlerin birbirleri ile toplanarak tek bir haritanın üretilmesidir. ADB ortak bir sayısal dizide standartlaştırılmış sürekli kriter (j) ağırlıklarının (w) ortalaması temeline dayanır ve her bir alternatifin toplam puanı, o alternatifin değeri ile kendisine atanmış önemlilik puanının çarpımıyla ve sonra bu tüm sonuçların toplamıyla elde edilir. Puan tüm alternatifler için hesaplanır ve en yüksek puana sahip olan alternatif seçilir. Bu yöntemde, öznitelik değerleri ve ağırlıkların rakamsal ve karşılaştırılabilir olması gerekmektedir (Triantaphyllou ve Mann 1989).

### 3. Tartışma

CBS, konumsal karar verme uygulamaları ve problemlerin çözümünde, pek çok alternatifin analiz sürecine dahil edilmesine ve bu sayede de farklı stratejiler geliştirilmesine imkan sunmaktadır. Bu çalışmada da RES kurulması için uygun yer haritasının üretilmesinde CBS ile bütünlük çok kriterli karar verme analizi uygulanmıştır. ÇKKA işlemi için Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ve Ağırlıklandırılmış Doğrusal Birleştirme (ADB) metodlarından faydalanılmıştır. CBS dayalı çok kriterli karar analizi yöntemi ile Yenice ilçesine ait 10 kriterin normalleştirilmesi, kriterlerin ağırlık-

larının belirlenmesi ve tüm kriterlerin toplanması ile RES yapım yeri için duyarlılık sınıfları haritası üretilmiştir (Şekil 3). Üretilen duyarlılık haritası çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük duyarlı olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 3). Duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan kriterler ve yöntemler rüzgar enerjisi amaçlı Hatay ili için Özşahin ve Kaymaz (2013), Trabzon ili için Nişancı vd. (2010) ve güneş enerjisi amaçlı olarak Konya ili için Uyan (2017) tarafından duyarlılık analizinde kullanılan kriterler ve CBS gibi kullanılan yöntemlerle uyum sağlamaktadır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda çok yüksek ve yüksek duyarlılık %0,00, orta duyarlılık %37,50, düşük duyarlılık %37,25 ve çok düşük duyarlılık %25,25 oranında elde edilmiştir. Nişancı vd. (2010) çalışma alanı ile aynı coğrafi bölge olan Karadeniz bölgesinde yer alan Trabzon ilinde yine CBS tabanlı rüzgar enerjisi üretim alanlarını belirledikleri çalışmalarında Trabzon'un rüzgar tribünü uygunluğunu düşük ve çok iyi aralığında olmak üzere, Yenice ilçesini konu alan bu çalışmada olduğu gibi 5 sınıfta incelemişlerdir.

Üretilen RES uygunluk haritasının doğruluğunu belirlemek için sonuç haritası Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından çeşitli faktörler temel alınarak oluşturulan "Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA)"nın Karabük ili raporundaki "Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulabilir Alanlar (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü 2020a) haritası ile karşılaştırılmış ve bulguların birbirleriyle örtüştüğü



Şekil 3. Uygun RES yapım yeri alanı için duyarlılık sınıfları haritası.

**Çizelge 3.** Uygun RES yapım yeri için duyarlılık sınıflarının dağılımı.

Duyarlılık Sınıfı	AHP Fraksiyonu (%)	Yüzölçümü (km <sup>2</sup> )
Çok düşük	25,25	5,56
Düşük	37,25	8,19
Orta	37,50	8,25
Yüksek	0	0
Çok yüksek	0	0
Toplam	100	22

görülmüştür. Benzer şekilde Doğanç vd. (2016) Orta ve Batı Karadeniz bölgesinde meteorolojik verilerle yapay sinir ağlarını kullanarak rüzgar enerjisi tahmini yaptıkları çalışmalarında bu çalışmaya konu olan Yenice ilçesini çevreleyen ve yakınında yer alan Zonguldak, Karabük, Bafra ve İnebolu için hesaplanan tahmini değerlerle gerçek değerlerin örtüştüğünü ortaya koymuşlardır. Bu veriler çalışma sonuçlarının geçerli ve uygulanabilir olduğunu kanıtlamaktadır. Yenice ilçe merkezini oluşturan ve 22 km<sup>2</sup>lik alan kaplayan çalışma alanında RES kurulmasına uygun alanların, orta duyarlılık özelliği sunan 8,25 km<sup>2</sup> alana sahip olduğu ve ağırlıklı olarak çalışma alanının doğu ve güney kısımlarında yer aldığı görülmüştür.

Başta rüzgar enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılması temiz ve sağlıklı bir çevre ve ucuz enerji temini açısından ülkemize katkı sağlayacaktır. Ayrıca gerçekleştirilen bu çalışma CBS tabanlı ÇKKA ve AHY yöntemlerinin de uygun yer seçimi ve haritalarının üretilmesinde oldukça etkili bir yöntem olduğunu ortaya koyması bakımından önem sunmaktadır.

#### 4. Kaynaklar

- Acar, E., Doğan, A. 2008. Türkiye'nin rüzgar ve hidroelektrik enerji potansiyeli ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesi. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES 2008, 675- 682.
- Akpınar, EK., Balpetek, N. 2019. Weibull ve Rayleigh dağılımlarına göre Elazığ ilinin rüzgar enerjisi potansiyelinin istatistiksel analizi. *Gazi J. Eng. Sci.*, 34(1): 569-580. Doi: 10.17341/gazimmfd.416517
- Aras, H. 2003. Wind energy status and its assessment in Turkey. *Renew. Energ.*, 2: 2213-2220. Doi: 10.1016/S0960-1481(03)00130-7
- Alan, İ., Aksay, A. 2002. 1/100000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları No:29 Zonguldak F28 paftası, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Bayraç, HN. 2011. Küresel rüzgar enerjisi politikaları ve uygulamaları. *Uludağ İİBF Derg.*, 30(1): 37-57.

Bingöl, F. 2018. Rüzgar enerji sistemleri için hava yoğunluğunun hesaplanması. *Politek Derg.*, 21(2): 273-281. Doi: 10.2339/politek.385523

Can, E. 2019. Analysis of risks that are based on the aerial photography used in photogrammetric monitoring maps for environmental wind power energy plant projects. *Environ Monit Assess.*, 191: 746. Doi:10.1007/s10661-019-7944-8

Çelik, İ., Yıldız, C., Şekelli, M. 2018. Rüzgar enerjisi santrali kurulduğunda rüzgar türbinlerinin mikro yerleşimi için bir optimizasyon modeli. *GU J Sci, Part C.* 6(4): 898-908. Doi: 10.29109/gujsc.424155

Dikmen, AÇ. 2019. Türkiye'de güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin sera gazı emisyonları ve çevre maliyetinin azalmasına katkıları. *Turkish Studies*, 14(2): 275-293. Doi: 10.7827/TurkishStudies.15149

Dikmen, E., Örgen, FK. 2018. Ağlasun bölgesi için rüzgar hızı tahmini ve en uygun türbin tespiti. *ÖHÜ Müh. Bilim. Derg.*, 7(2): 871-879. Doi: 10.28948/ngumuh.445314

Doğanç, Ö., Ertürk, M., Özsunar, A., Arcaklıoğlu, E. 2016. Orta ve batı Karadeniz bölgesi rüzgar enerjisi tahmin çalışması. *J. Adv. Tech. Sci.*, 5(1): 153-163.

Enerji Atlası 2020. Karabük elektrik santralleri. <https://www.enerjiatlas.com/sehir/karabuk/> (18.02.2020).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2016. 2017 yılı bütçe sunumu. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara, 170 s. [http://www.elder.org.tr/Content/yayinlar/2017\\_B%20C3%BCt%20C3%A7e\\_Sunu%20C5%9Fu.pdf](http://www.elder.org.tr/Content/yayinlar/2017_B%20C3%BCt%20C3%A7e_Sunu%20C5%9Fu.pdf) (20.02.2020).

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü 2020a. Karabük ili rüzgar kaynak bilgileri. <https://www.eigm.gov.tr/File/?path=ROOT%2f4%2fdocuments%2frep%2fKARABUK-REPA.pdf> (20.02.2020).

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü 2020b. Yenilenebilir enerji-rüzgar. <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> (20.02.2020).

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü 2020c. Yenilenebilir enerji-rüzgar. Türkiye geneli ve il bazlı rüzgar enerjisi teknik potansiyelleri ile ilgili yönlendirici bilgiler. <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/REPA> (20.02.2020).

Erduman, A., Durusu, A., Kekezoğlu, B. 2018. Küçük güçlü rüzgar santrallerinin kurulumu ve şebekeye etkilerinin teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi: Uygulama çalışması. *EJOSAT*, 13: 112-117. Doi: 10.31590/ejosat.420155

Hepbaslı, A., Ozgener, O. 2004. A review on the development of wind energy in Turkey. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 8 (2004): 257-276. Doi: 10.1016/j.rser.2003.10.006

Karabük Belediyesi 2020. Karabük'ün konumu. [https://www.karabuk.bel.tr/icerik.asp?i\\_id=39](https://www.karabuk.bel.tr/icerik.asp?i_id=39) (17.01.2020).

- Karabük Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü 2019.** Karabük ili 2018 yılı çevre durum raporu. Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü Çed ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü Karabük, 161 s.
- Karabük İl Özel İdaresi 2020.** Turizm bilgi sistemi. <http://www.karabukozelidare.gov.tr/turizm-bilgi-sistemi> (17.01.2020).
- Kaymak, MK. 2020.** Rüzgar enerjisi. <http://web.itu.edu.tr/~kaymak/windpower.html> (28.02.2020).
- Koç, T. 1996.** Kapıdağ yarımadasında rüzgar ve ortam. *Türk Coğ. Derg.*, 31: 167-182.
- Mazman, T. 2005.** Coğrafi bilgi sistemleri ve istatistiksel analiz teknikleri ile Kumluca Havzası (GD Bartın) heyelan duyarlılık değerlendirmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana 102s.
- Mora, S., Vahrson, W. 1994.** Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Bull. Assoc. Eng. Geo.*, 31(1): 49-58. Doi: 10.2113/gsegeosci.xxxi.1.49.
- Nişancı, R., Yıldırım V., Özçelik AE. 2010.** Rüzgar enerjisi üretim alanlarının coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi: Trabzon ili örneği. III. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu Bildiriler Kitabı* s. 213-220.
- Oğulata, RT. 2003.** Energy sector and wind energy potential in Turkey. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 7 (2003) 469-484. Doi: 10.1016/S1364-0321(03)00090-X
- Önal, F., Yarbay, RZ. 2010.** Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve geleceği. *İstanbul Tic. Üniv. Fen Bil. Derg.*, 9(18): 77-96.
- Özşahin, E., Kaymaz, ÇK. 2013.** Rüzgar enerji santrallerinin (RES) yapım yeri seçimi üzerine bir CBS analizi: Hatay örneği, *Tüba Bil. Derg.*, 6(2): 1-18.
- Pusat, Ş. 2017.** Sakarya Üniversitesi için rüzgar enerjisi potansiyel belirleme çalışması. *Pamukkale Üniv. Müh. Bilim. Derg.*, 23(4): 352-357. Doi: 10.5505/pajes.2017.98250
- REN21 2019.** Renewables 2019. Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> century Paris, France, pp: 336. [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr\\_2019\\_full\\_report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf) (20.02.2020).
- Saaty, TL., 1977.** A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J. Math. Psychol.*, 15: 234-281. Doi: 10.1016/0022-2496(77)90033-5
- Saral, A., Musaoğlu, N. 2011.** Çok kriterli karar verme ve bilgi difüzyonu yöntemleri ile taşkın risk analizi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.
- Sözen, A., Mirzapour, A, Çakır, MT., İskender, Ü., Çipil, F. 2015.** Selecting best location of wind plants using dea and topsis approach in Turkish cities. *Gazi J. Eng. Sci.*, 1(1): 173-194.
- Şahin, C., Karaçor, M., Özbay, H. 2019.** Yenilenebilir enerji kaynağı kurulum gücü minimize katsayısının belirlenmesi. *EJOSAT*, 15: 404-411. Doi: 10.31590/ejosat.526918
- Şahin, KE. 2018.** Heyelan duyarlılık haritası için adimsal regresyona dayalı faktör seçme yönteminin etkinliğinin araştırılması. *Harita Derg.*, 159: 1-15.
- Tagıl, Ş. 1995.** Çanakkale çevresinde rüzgarlar ve rüzgar enerjisinden yararlanma olanaklarının araştırılması. *Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, İzmir.
- Tarım ve Orman Bakanlığı 2020.** Göç yolları. Tarım ve Orman Bakanlığı Koruma Kontrol Genel Müdürlüğü Hayvan Sağlık Daire Başkanlığı <http://www.kusgribi.gov.tr/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EF A26CBFDF5F1B259F> (17.02.2020).
- Triantaphyllou, E., Mann, SH. 1989.** An examination of the effectiveness of multi-dimensional decision-making methods: A decision-making paradox. *Decis Support Syst.*, 5(3): 303-312. Doi: 10.1016/0167-9236(89)90037-7
- TUİK 2020.** Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi. Türkiye İstatistik Kurumu <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> (19.02.2020).
- Uyan, M. 2017.** Güneş enerjisi santrali kurulabilecek alanların AHP yöntemi kullanılarak CBS destekli haritalanması, *Pamukkale Üniv. Müh. Bilim. Derg.*, 23(4): 343-351. Doi: 10.5505/pajes.2016.59489
- Uyar, TS. 1985.** Rüzgar enerjisi sistemleri. 10-14 Haziran 1985, Lisansüstü Yaz Okulu, Yıldız Üniversitesi, İstanbul.
- Ültanır, MÖ. 1996.** Şimdi rüzgar çiftliği zamanı. *Enerji*, 1(5): 48-57.
- Yalçın, A., Reis, S., Aydınöğlü, AC., Yomraloğlu, T. 2011.** A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*, 85(3): 274-287. Doi: 10.1016/j.catena.2011.01.014
- Yenice Belediyesi 2020.** Yenice, coğrafi yapı <http://www.karabukyeni.bel.tr/karabukyeni/?syf=yazilargoster&ktg=2&id=16> (19.02.2020).
- Yenice Kaymakamlığı 2020.** Mahalli idareler. <http://www.yenice.gov.tr/mahalli-idareler> (19.02.2020).
- Yıldırım, U., Gazibey, Y., Güngör, A. 2012.** Niğde ili rüzgar enerjisi potansiyeli. *Niğde Üniv. Müh. Bil. Derg.*, 1(2): 27-47. Doi: 10.28948/ngumuh.239392
- Yıldırım, V., Yomraloğlu, T. 2013.** Coğrafi Bilgi Sistemleri ile çizgisel mühendislik yapılarında güzergah optimizasyonu: doğalgaz iletim hattı örneği. *Afyon Kocatepe Üniv. Fen ve Müh. Bil. Derg.*, 13(1): 1-10. Doi: 10.5578/fmbd.5433
- Yılmaz, EA., Can Öziç, H. 2018.** Türkiye’nin yenilenebilir enerji potansiyeli ve gelecek hedefleri. *ODÜ SOBİAD*, 8(3): 525-535.



## Effect of Alkali Content and Activator Modulus on Mechanical Properties of Alkali Activated Mortars

*Alkali İçeriği ve Aktivatör Modülünün Alkali Aktive Edilmiş Harçların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi*

Ahmet Onur Pehlivan

Maltepe University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, Istanbul, Turkey

### Abstract

Alkali activation is a promising method of reducing cement production considerably without further significant investments. Utilization of these materials are of extreme importance when environmental aspects such as CO<sub>2</sub> emissions and energy consumptions are considered. In this article, effect of activator modulus and alkali content on fresh behavior and mechanical properties were investigated. 12 M NaOH solution and sodium silicate solution with a modulus of 3 were used. Water-to-binder ratio was selected as 0.5 for all specimens where binder content was calculated as the total of slag content plus activator solids. Slag content was 500 kg/m<sup>3</sup> for all mixtures. Mechanical tests were conducted on 40 x 40 x 160 mm prismatic specimens. Results indicate that mechanical properties of alkali activated mixtures are highly dependent on both parameters hence proper optimization of these two parameters becomes compulsory. In this study, it is concluded that alkali content (Na<sub>2</sub>O/slag) should be selected 9% and whereas activator modulus should be leveled near a value of 1.5. Flexural properties were also highly affected from optimization of these parameters and similar findings are deduced. Early strength evaluations are highly dependent on activator modulus. Workability of the mixture was also assessed and it should be noted that flowability of mixture was adversely affected with the increasing activator solids content.

**Keywords:** Activator modulus, Alkali activated slag, Alkali content, Sodium silicate

### Öz

Alkali aktivasyonu çok büyük yatırımlar yapılmadan dahi çimento üretimini önemli seviyede indirgeyebilecek umut verici bir yöntem olarak görülmektedir. Atık olarak görülen cürüfların bu şekilde endüstriye kazandırılması ile CO<sub>2</sub> emisyonlarının ve enerji tüketiminin azalması, bu malzemelerin sürdürülebilirlik kapsamında önemli katkılar sağlayabileceğini işaret etmektedir. Bu çalışmada, alkali içeriği ve alkali aktivatör modülü değerlerinin alkali aktivasyonu sürecinde harç numunelerin akışkanlık ve mekanik özellikleri üzerindeki özellikleri araştırılmıştır. Aktivatör olarak 12 M NaOH çözeltisi ve 3 modüllü sodyum silikat kullanılmıştır. Su-çimento oranı 0.5 olarak belirlenmiş ve bağlayıcı miktarı karışımda kullanılan cüruf ve katı aktivatör miktarlarının toplamı olarak alınmıştır. Harç numuneler hazırlanırken cüruf miktarı 500kg/m<sup>3</sup> olarak tercih edilmiş ve 40 x 40 x 160 mm prizmatik kalıplara dökülerek 7 ve 28 gün boyunca kürede tutulmuşlardır. Harç numunelerin mekanik özelliklerinin kullanılan her iki parametreye daha fazlasıyla bağımlı olduğu ve parametrelerin optimizasyonunun çok önemli olduğu gözlenmiştir. Çalışmanın özelinde kullanılan değerlerle mekanik özellikler açısından en iyi parametre seçimi olarak aktivasyon modülünün 9% ve aktivatör modülünün 2 olduğu seçenek olarak bulunmuştur. Erken dayanım sonuçlarının ağırlık olarak aktivatör modülü değerlerinden fazlasıyla etkilendiği gözlenmiştir. Harç karışımlarının işlenebilirlik sonuçlarının özellikle katı aktivatör miktarının artmasıyla olumsuz etkilendiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aktivatör modülü, Alkali aktive edilmiş cüruf, Alkali miktarı, Sodyum silikat

### 1. Introduction

Alkali activated slag composites display great potential to be used as replacement for cementitious materials. As an industrial by-product, blast furnace slag is formed within

the process of producing iron and has glassy structure rich with calcium and silicon (Gao et al. 2015).

Many rich deposits have been depleted all around the world with the production of ordinary Portland cement which also contributes to 8% of man-made CO<sub>2</sub> emissions (Luukkonen et al. 2018). As the construction sector and accordingly demand for concrete is growing, cement production has to be

\*Corresponding author: [onurpehlivan@maltepe.edu.tr](mailto:onurpehlivan@maltepe.edu.tr)

optimized to reduce energy consumption and gas emissions (El-Hassan et al. 2018). In recent years, researchers focus on alternative methods to decrease cement production (Biricik and Karapinar 2018). Partial replacement of cement with supplementary cementitious materials is developed and added to regulations and standards. However, these efforts were not satisfactory for reduction in gas emissions thus any prospect of advancement in this concept gained utmost significance.

Many studies have been conducted to understand the influence of mixture proportions and microstructure of alkali activated slag mixtures (Jiao et al. 2018, Aydin and Baradan 2014). High alkaline solutions were implemented as activator by combining sodium hydroxide pellets and sodium silicate solutions. Na and Si contents were decided and used in mixture proportioning. Combination of sodium silicate and sodium hydroxide was found to be significantly effective when increasing the reactivity of the slag particles. Development of mechanical and rheological properties were monitored with several parameters including activator modulus,  $\text{Na}_2\text{O}$  content, amount of slag, slag fineness, curing method and vice versa (Jiao et al. 2018, Jimenez et al. 2003, Shi 1996, Li et al. 2018).

Due to findings in several studies alkali activated slag composites have several advantages such as low hydration temperature, high mechanical performance, good microstructural integrity, low porosity and several good durability features. And comparatively, they have several disadvantages such as susceptibility to high shrinkage and rapid setting (Jiao et al. 2018, Gao et al. 2015, Akcaozoglu et al. 2017)

Alkali activated slag composites may be attributed as a great prospect to replace ordinary Portland cement (Taghvayi et al. 2018, Babae and Castel 2018). Currently its applicability is not easy to implement in construction industry since parameters governing both early and ultimate mechanical properties are interrelated. This may be also concluded from

several studies, there is not a net conclusion derived to establish some strict rules for alkali activated concrete mix design. This study aims to fill these gaps with the findings derived from the 2 most significant parameters ( $\text{Na}_2\text{O}$  content and activator modulus) and give insight about the most effective parameter combinations.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

In this study ground blast furnace slag was acquired from Erdemir steel factory as waste of steel production and transported to Akcansa cement factory and grinded to a Blaine specific surface area of  $5550 \text{ cm}^2/\text{gr}$  with a specific weight of  $2.75 \text{ gr/cm}^3$ . Distilled water was used as mixture water. Chemical oxide compositions and physical properties of slag are shown in Table 1. Natural river sand with a maximum diameter size of 4 mm was used. Specific gravity of the sand was  $2.71 \text{ gr/cm}^3$ . Sodium hydroxide and sodium silicate were used as activators. Sodium hydroxide used was in powder form whereas sodium silicate was used in aqueous form and detailed properties of the sodium silicate activator were provided in Table 2.

### 2.2. Specimen Preparation

#### 2.2.1. Preparation of activator solutions

NaOH in powder form was mixed with water and 12 M NaOH solution was formed at least 48 hours before mortar mixing. Alkali activator solution was formed prior to mortar casting by combining mixture water with 12M NaOH solution and sodium silicate with proper stirring since sodium silicate was in a more viscous state. Alkali activator solution was left for at least for 24 hours in laboratory conditions.

#### 2.2.2. Mixture proportion configurations

Mixture proportions were designed for the given parameter configurations. Liquid to binder ratio and ground granulated

**Table 1.** Composition of ground granulated blast furnace slag.

Composition (%)	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{SO}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	LOI
GGBS	40.21	12.64	1.20	36.42	5.50	0.13	0.81	0.64	0.11

**Table 2.** Composition of sodium silicate activator solution.

Activator	Specific gravity ( $\text{g/cm}^3$ )	Baume	$\text{Na}_2\text{O}$ (%)	$\text{SiO}_2$ (%)	Modulus ( $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ )
Sodium Silicate	1.40	41.25	9.44	28.28	3.00

blast furnace slag (GGBS) dosage were held constant at 0.5 and 500 kg/m<sup>3</sup>, respectively. Na<sub>2</sub>O amount originated from 12 M NaOH solution and sodium solution were summed and calculated as total Na<sub>2</sub>O content of the mix. Total Na<sub>2</sub>O and SiO<sub>2</sub> contents were summed and noted as activator solids. Binder content was calculated as the sum of slag and activator solids. Total mixture water amount was calculated as the total water used in 12 M NaOH solution plus the water in the sodium silicate and the extra water added to supply the liquid to binder ratio of 0.5.

Sixteen different mortar mixtures were formed with 4 different Na<sub>2</sub>O/slag ratios (3, 6, 9, 12%) and 4 different moduli (SiO<sub>2</sub> / Na<sub>2</sub>O) ratios (M=0.5, 1, 1.5, 2). Mixture proportions and several calculation details are given in Table 3. In this study, a constant sand to slag ratio of 2.70 is used. Sodium silicate, 12 M NaOH and water amounts are adjusted for 16 different mixture types so that activator modulus and Na<sub>2</sub>O / slag ratios are satisfied. Finally, water amounts are adjusted to have a liquid binder ratio of 0.5 for all mixes.

**2.2.3. Preparations of specimens**

Dry mixture was formed by mixing slag with aggregates and alkali activator solution was added gradually in 3 minutes time and mixing was continued for one more minute. Alkali activator solution was formed 24 hours prior to mortar casting by adding NaOH in powder form, sodium silicate solution and also the mixing water.

Mixture compositions are given in Table 3. 40x40x160 mm specimens were casted from all sixteen mixtures. Specimens were placed in water tanks which were held at constant temperature of 20±1 °C. All specimens were casted in steel moulds and held in laboratory conditions. Subsequently specimens were demolded 48 hours after mixing and placed in curing chambers.

**2.3. Testing Method**

**2.3.1. Flowability of mortar mixtures**

Flowability tests were conducted to determine the effect of alkali activated slag mortars. There were no coarse aggregates in mixtures so that the workability of the mixtures was tested according to ASTM C1437-15 which is the standard for flow analysis of hydraulic cement mortar (ASTM International 2015). Tests were conducted on a jumping table with a steel ring mold that was filled with two layers of mortar mixture to its full height of 50 mm and both layers were tamped 20 times. When mixture was released by

**Table 3.** Mixture proportions and parameters.

Mix Proportions (kg/m <sup>3</sup> )	NS3M05				NS3M10				NS3M15				NS3M20				NS6M05				NS6M10				NS6M15				NS6M20				NS9M05				NS9M10				NS9M15				NS9M20				NS12M05				NS12M10				NS12M15				NS12M20										
	500	222	27	50	1350	216	53	40	1350	207	80	30	1350	277.09	279.14	20	1350	199	107	100	1350	181	106	80	1350	164	159	60	1350	147	212	40	1350	171	80	149	1350	146	160	119	1350	120	239	89	1350	94	319	59	1350	145	105	199	1350	111	212	159	1350	76	320	119	1350	500	500	500	1350	500	500	500	1350	500	500
Slag	500	222	27	50	1350	216	53	40	1350	207	80	30	1350	199	107	100	1350	181	106	80	1350	164	159	60	1350	147	212	40	1350	171	80	149	1350	146	160	119	1350	120	239	89	1350	94	319	59	1350	145	105	199	1350	111	212	159	1350	500	500	500	1350	500	500	500	1350	500	500	500							
Water	222	216	53	40	1350	207	80	30	1350	181	106	80	1350	164	159	60	1350	147	212	40	1350	171	80	149	1350	147	212	40	1350	146	160	119	1350	120	239	89	1350	94	319	59	1350	145	105	199	1350	111	212	159	1350	500	500	500	1350	500	500	500	1350	500	500	500											
Sodium Silicate	27	53	40	40	1350	207	80	30	1350	181	106	80	1350	164	159	60	1350	147	212	40	1350	171	80	149	1350	147	212	40	1350	146	160	119	1350	120	239	89	1350	94	319	59	1350	145	105	199	1350	111	212	159	1350	500	500	500	1350	500	500	500	1350	500	500	500											
12 M NaOH Solution	50	40	40	40	1350	207	80	30	1350	181	106	80	1350	164	159	60	1350	147	212	40	1350	171	80	149	1350	147	212	40	1350	146	160	119	1350	120	239	89	1350	94	319	59	1350	145	105	199	1350	111	212	159	1350	500	500	500	1350	500	500	500	1350	500	500	500											
Natural Sand	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350																			
Na <sub>2</sub> O (from sodium silicate)	2.55	5.01	12.57	15.12	7.56	15.10	22.62	37.72	7.56	15.10	22.62	37.72	7.56	15.10	22.62	37.72	7.56	15.10	22.62	37.72	7.56	15.10	22.62	37.72	7.56	15.10	22.62	37.72	7.56	15.10	22.62	37.72	7.56	15.10	22.62	37.72	7.56	15.10	22.62	37.72	7.56	15.10	22.62	37.72	7.56	15.10	22.62	37.72	7.56	15.10	22.62	37.72	7.56	15.10	22.62	37.72															
Na <sub>2</sub> O (from NaOH solution)	15.12	7.63	272.10	22.75	14.94	14.99	275.69	29.93	15.10	14.99	277.09	37.72	15.10	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40											
Na <sub>2</sub> O (total)	15.12	7.63	272.10	22.75	14.94	14.99	275.69	29.93	15.10	14.99	277.09	37.72	15.10	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40	15.14	14.99	279.14	45.40															
SiO <sub>2</sub>	7.63	14.99	272.10	22.75	14.99	14.99	275.69	29.93	14.99	14.99	277.09	37.72	14.99	14.99	279.14	45.40	14.99	14.99	279.14	45.40	14.99	14.99	279.14	45.40	14.99	14.99	279.14	45.40	14.99	14.99	279.14	45.40	14.99	14.99	279.14	45.40	14.99	14.99	279.14	45.40	14.99	14.99	279.14	45.40	14.99	14.99	279.14	45.40	14.99	14.99	279.14	45.40																			
Total water	272.10	22.75	522.75	3.0%	275.69	29.93	529.93	3.0%	277.09	37.72	537.72	3.0%	279.14	45.40	545.40	3.0%	282.23	45.40	545.40	3.0%	284.33	45.40	545.40	3.0%	286.43	45.40	545.40	3.0%	288.53	45.40	545.40	3.0%	290.63	45.40	545.40	3.0%	292.73	45.40	545.40	3.0%	294.83	45.40	545.40	3.0%	296.93	45.40	545.40	3.0%	299.03	45.40	545.40	3.0%																			
Activator Solids	22.75	29.93	522.75	3.0%	29.93	37.72	537.72	3.0%	37.72	45.40	545.40	3.0%	45.40	45.40	545.40	3.0%	45.40	45.40	545.40	3.0%	45.40	45.40	545.40	3.0%	45.40	45.40	545.40	3.0%	45.40	45.40	545.40	3.0%	45.40	45.40	545.40	3.0%	45.40	45.40	545.40	3.0%	45.40	45.40	545.40	3.0%	45.40	45.40	545.40	3.0%																							
Total Binder	522.75	3.0%	3.0%	3.0%	537.72	3.0%	3.0%	3.0%	545.40	3.0%	3.0%	3.0%	545.40	3.0%	3.0%	3.0%	545.40	3.0%	3.0%	3.0%	545.40	3.0%	3.0%	3.0%	545.40	3.0%	3.0%	3.0%	545.40	3.0%	3.0%	3.0%	545.40	3.0%	3.0%	3.0%	545.40	3.0%	3.0%	3.0%	545.40	3.0%	3.0%	3.0%	545.40	3.0%	3.0%	3.0%																							
Na <sub>2</sub> O/slag	3.0%	0.50	0.50	0.50	3.0%	0.50	0.50	0.50	3.0%	0.50	0.50	0.50	3.0%	0.50	0.50	0.50	3.0%	0.50	0.50	0.50	3.0%	0.50	0.50	0.50	3.0%	0.50	0.50	0.50	3.0%	0.50	0.50	0.50	3.0%	0.50	0.50	0.50	3.0%	0.50	0.50	0.50	3.0%	0.50	0.50	0.50	3.0%	0.50	0.50	0.50																							
Liquid/ binder	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50																											
Modulus	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	1.50	2.00	2.00	1.00	1.50	2.00	2.00	1.00	1.50	2.00	2.00	1.00	1.50	2.00	2.00	1.00	1.50	2.00	2.00	1.00	1.50	2.00	2.00	1.00	1.50	2.00	2.00	1.00	1.50	2.00	2.00	1.00	1.50	2.00	2.00	1.00	1.50	2.00	2.00																											

removing the mold, jumping table was dropped for 25 times in a period of 15 seconds. Two sets of flowability tests were conducted for all specimens. Diameters of the mortar flows were measured from two vertical directions and average of these values were calculated. Flow of the mixtures were determined by dividing the findings by the initial diameter of the mold and expressed in percentage form.

All mortar specimens were tested under both compressive and flexural loads. Three-point loading procedure was applied according to ASTM C 348-20 with a span length of 100 mm with a displacement controlled loading rate at a speed of 0.5 mm/min at different curing intervals of 7 and 28 days (ASTM International 2020). Subsequent to three point loadings, specimens were cracked at midspan and separated into two pieces where both pieces were used for compressive strength tests according to ASTM C 349-18 (ASTM International 2018). Compressive strength tests were applied at a compressive loading test device which was force controlled at a rate of 0.5 MPa/sec. Appropriate loading fixture was implemented for compressive testing to apply accurate loading on the 40x40 mm surfaces.

### 3. Results

#### 3.1. Flowability Results of Mortar Mixtures

Mixtures were diagnosed by means of workability when being casted into steel molds and it has been seen that all mixtures were in highly workable state hence there were no need for superplasticizers. Also workability conditions were measured by flowability tests. Although all mixtures were diagnosed as workable, some differences were observed from flowability results which are illustrated in Figure 1. Flowability values were calculated as the percentage to initial diameter size of 100 mm.

According to test results, highest flowability result was 154% (NS3M10) whereas lowest value was 133% (NS12M20). It is observed that low alkali content specimens had better workability results.

#### 3.2. Compressive Strength Results

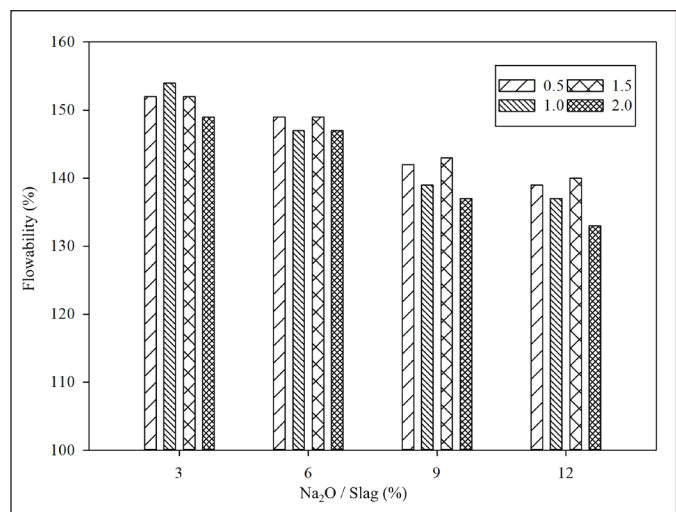
The compressive strength results were obtained from the two halves of the specimens that were cracked under flexural loadings. Since there were 3 specimens from each set tested under flexure, six specimens were tested for compressive strength results. Therefore, a good set of results were obtained and given in Table 4.

The highest compressive strength was obtained for specimens with 9% Na<sub>2</sub>O content where activator modulus

is highest (M=2). Second best result from these findings were found for 6% Na<sub>2</sub>O specimens with a modulus of 2 whereas specimens with 9% Na<sub>2</sub>O content and modulus of 1.5 was very close to these results. So these results show that

**Table 4.** Compressive and flexural strength results.

	Compressive Strength (MPa)		Flexural Strength (MPa)	
	7-day	28-day	7-day	28-day
NS3M05	24.13	32.61	3.38	5.24
NS6M05	32.14	43.44	4.06	6.63
NS9M05	39.76	55.22	4.68	7.87
NS12M05	39.60	55.00	4.26	7.43
NS3M10	29.63	46.30	4.06	7.27
NS6M10	37.25	55.60	4.58	8.28
NS9M10	43.82	63.50	5.26	9.23
NS12M10	43.56	60.50	5.03	8.46
NS3M15	23.81	44.10	3.00	6.42
NS6M15	43.01	66.16	5.11	9.51
NS9M15	51.12	73.03	6.34	10.97
NS12M15	48.11	67.76	5.63	9.59
NS3M20	20.69	40.57	2.58	5.71
NS6M20	44.80	73.44	5.36	10.64
NS9M20	55.48	78.14	6.94	11.84
NS12M20	49.80	66.40	6.05	9.77



**Figure 1.** Flowability test results with different Na<sub>2</sub>O content and activator modulus.

there is a net combined effect of both  $\text{Na}_2\text{O}$ /slag ratio and activator modulus.

Lowest compressive strength results were recorded for NS3M05 mixtures which have the lowest  $\text{Na}_2\text{O}$ /slag ratio and lowest modulus. NS3M05 specimens have shown very low strength with respect to all other mixtures (Figure 2). Specimens with 3%  $\text{Na}_2\text{O}$ /slag ratios showed generally the lowest results. For these specimens, it can be seen that increasing the activator modulus have little effect on the compressive strength except NS3M05 specimens which is most probably because of the low  $\text{Na}_2\text{O}$  content. When 6% and 9%  $\text{Na}_2\text{O}$  / slag ratio specimens were investigated, it is seen that compressive strength increased with the increasing activator modulus with a linear good fit. However, this behavior was not seen for specimens with 3 and 12%  $\text{Na}_2\text{O}$  content.

When exact values of 7-day results were compared, specimens with the lowest  $\text{Na}_2\text{O}$  content and highest modulus (NS3M20) were found to be weaker than all the other mixtures which contradicts with the 28-day results where weakest mixtures were found to be NS3M05 (Figure 2). When all mixtures are compared, effect of modulus contradicted only specimens with 3% of  $\text{Na}_2\text{O}$  content. For all the other mixture types, increasing modulus content increased the 7-day compressive strength results. Maximum 7-day compressive strength was obtained for specimens with 9%  $\text{Na}_2\text{O}$  content with an activator modulus of 2.

When analyzing the early strength results, 7-day results are normalized with the 28-day results and given in Table 5. Since specimens had quite different 28-day results so that comparing their 7-day results are found to be more expressive when analyzed with this point of view.

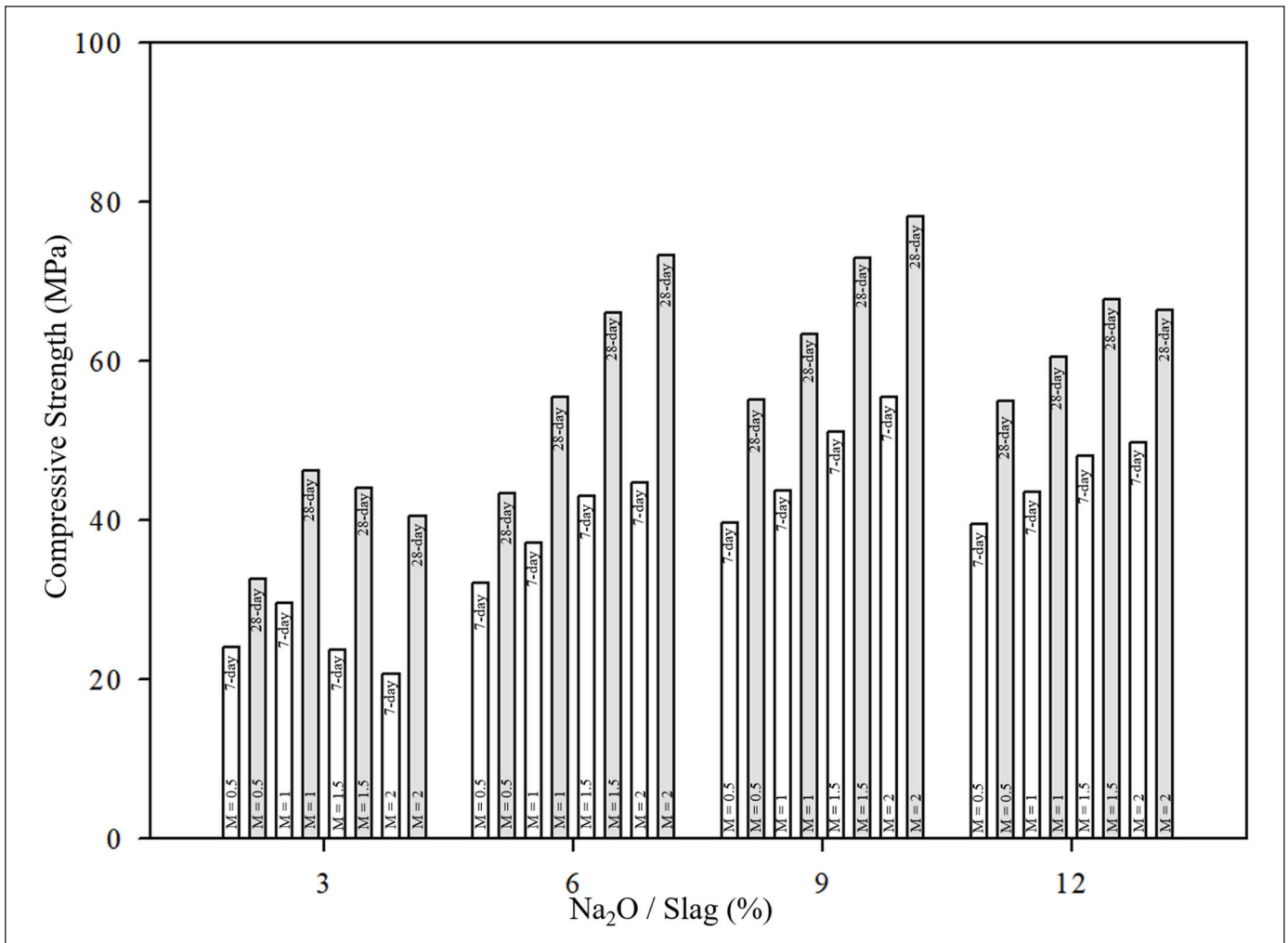


Figure 2. Comparison of 7 and 28-day compressive strength results for all mixtures.



**Table 5.** 7-day results normalized with 28-day results.

7-day / 28-day ratios		Activator Modulus (Si <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O)			
		0.5	1	1.5	2
Na <sub>2</sub> O / Slag (%)	3	0.74	0.64	0.54	0.51
	6	0.74	0.67	0.65	0.61
	9	0.72	0.69	0.70	0.71
	12	0.72	0.72	0.71	0.75

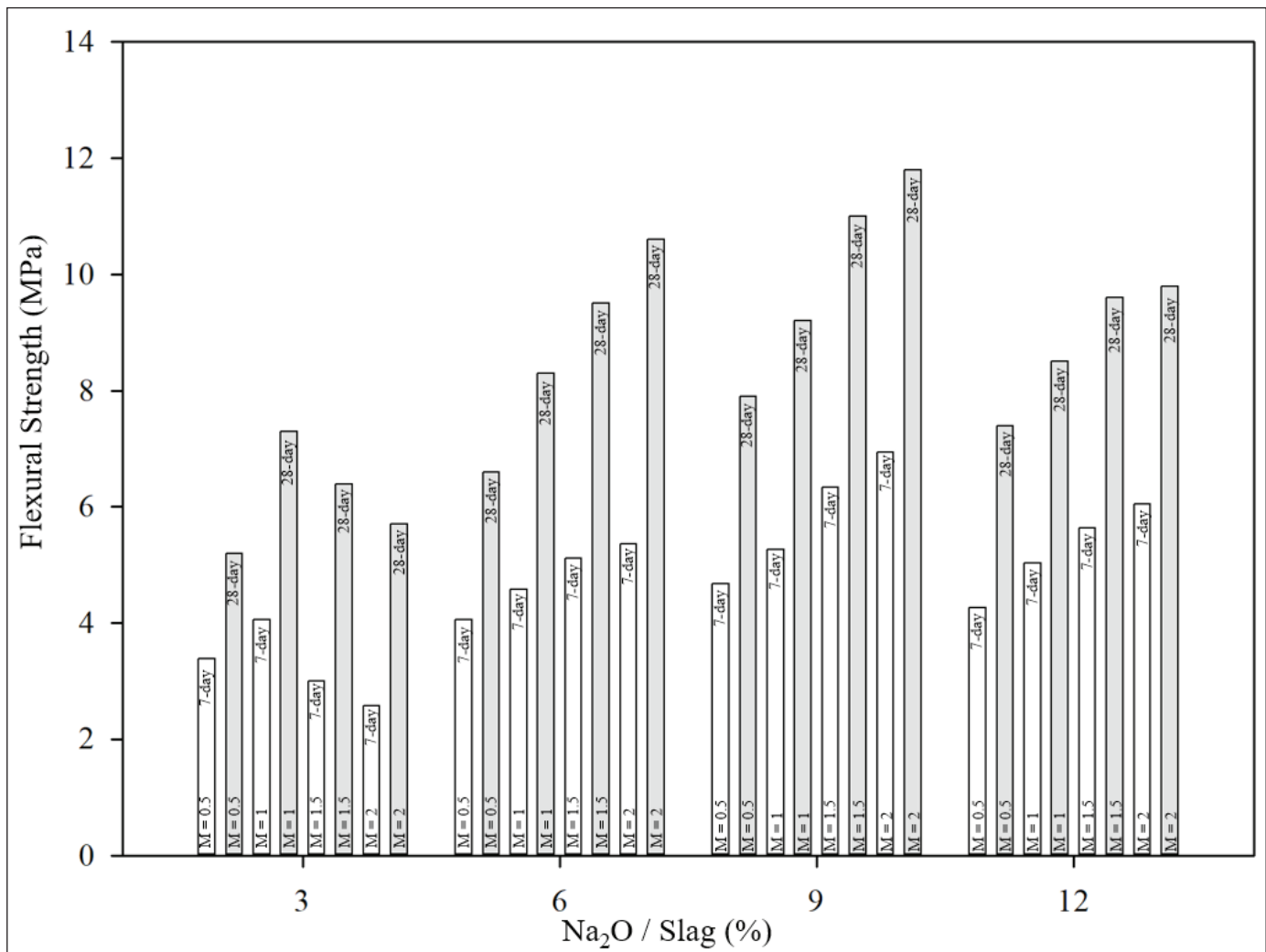
Highest difference between 7-day and 28-day results were recognized for mixtures with higher modulus (M<sub>s</sub>=2). For mixtures with modulus of 0.5, there was no important difference increase between early and 28-day strengths. Importance of the difference between the early and 28-day strength increases with the increasing activator modulus.

Accordingly, it can be concluded that early strength evolution is found to be limited for higher modulus mixtures. And also it may be added that for higher percentages of Na<sub>2</sub>O content, early strength results are more stable for various modulus levels.

Increase in compressive strength results with the increasing activator modulus can be directly related to SiO<sub>2</sub> content increasing and especially it is observed that SiO<sub>2</sub> content becomes more meaningful when alkali level (Na<sub>2</sub>O content) of the mixture is higher.

### 3.3. Flexural Strength Analysis

Flexural strength tests are made on triplicates of 40x40x160 mm specimens loaded under three-point loadings. Flexural strength results are given in Table 4 and also depicted in Figure 3.



**Figure 3.** Comparison of 7 and 28-day flexural strength results for all mixtures.

When 28-day results are investigated, it can be seen that NS3M20 specimens showed the worst flexural performance. Similar results were also seen for compressive strength specimens. Best flexural performance was seen for mixtures with 9%  $\text{Na}_2\text{O}$  content with higher modulus values (1.5 and 2). When best performances are considered, it is seen that at higher  $\text{Na}_2\text{O}$  contents, advantage of using higher modulus activator diminishes hence NS12M15 is very close to NS12M20 results. Moreover, it is seen that flexural performance for all  $\text{Na}_2\text{O}$  contents other than 3%, increases with the increasing activator modulus. However, mixtures containing 12%  $\text{Na}_2\text{O}$  are relatively limited in flexural performance.

When 7-day results are observed it may be deduced that performance of 3%  $\text{Na}_2\text{O}$  content specimens are highly different with respect to 28-day results. Effect of modulus is different for 7-day results with respect to 28-day results. All other findings are very close to 7-day compressive strength results.

#### 4. Discussion

Alkali activation of slag mortars is a highly applicable solution to replace cement in concrete applications for a sustainable approach. Optimization of the alkali activators are significantly important when designing the alkali activated mix proportions. In this study, two types of activators are used together with different proportions to satisfy the predefined parameters: (i) activator modulus and (ii)  $\text{Na}_2\text{O}$ /slag ratio. Four different moduli ( $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ) (0.5, 1, 1.5, 2) and also and 4 different  $\text{Na}_2\text{O}$  / slag ratios (3, 6, 9, 12%) were selected to conclude on the effects of these parameters on mechanical properties of alkali activated slag mortars. From the flowability results it may be deduced that workability of specimens were not much affected with varying parameters however difference between results may be analyzed nevertheless. Specimens with higher alkali content was found to be adversely affected in workability. Higher amount of sodium silicates provides a higher early strength thus decreasing workability with quick reaction and rapid hardening (Bakharev et al. 2000). Slag particles were observed to affect the workability quicker when activation progress is more efficient (Gao et al. 2015). In this study, activation progress is assessed to be more related to activator solids content rather than just alkali content. Correspondingly, modulus of the specimens should be optimized for proper workability assessments. When the averages of specimens with same  $\text{Na}_2\text{O}$  content are compared with the averages of mixtures with same modulus, it may

be noticed that effect of  $\text{Na}_2\text{O}$  content is more pronounced whereas effect of modulus seems more impotent. Moreover, for specimens with modulus of 1.5 it is seen that flowability results were found to be more close to each other for all  $\text{Na}_2\text{O}$  contents which may be concluded as a more robust design value for alkali activated slag mixtures in workability concept.

When mechanical properties were considered, flexural and compressive strength results were found to have similar trends. However, in a study authors declared that flexural strength is more prone to cracks with respect to compressive strength. They reported that there was not a remarkable change in flexural strength with the increasing  $M_s$  values. Same authors also declared that early strength values for both compression and flexural strength were observed to higher for lower modulus specimens as in accord with the findings of this study (Aydin and Baradan 2014). In another study, researchers reported higher early strength with lower modulus specimens and added that maximum strength results at later ages were found to be better for higher modulus specimens (Bakharev et al. 1999). Alkali activation process without sodium silicate activator was halted by a fast initial reaction of NaOH activated slag thus creating a dense CSH formation with smaller amount of chemically bound water. This phenomenon causes higher porosity and accordingly lower mechanical strength. Use of two activators simultaneously were significant and increasing amount of solid activators were dominant in mechanical strength evolution. Single NaOH activation produced a microstructure constructed with dense particles with connected pores whereas simultaneous use of activators supplied better homogeneity. (Ben Haha et al. 2011). Mechanical strength of the alkali activate mortars is altered by the pore volume and hydration products. Microcracks in the formation of the mortars were also significant when mechanical properties were considered (Zhang et al. 2020).

Specimens with higher alkali content attributed better results and activator modulus should be optimized by adjusting the sodium silicate amount in the mix design. Both  $\text{Na}_2\text{O}$  and soluble Si contents act an important part in the development mechanical properties of alkali activated mixtures (Zhang et al. 2020). Compressive strength results increased with the increasing modulus values which may be correlated to decreasing Ca/Si ratio thus binding ability of C-S-H particles was improved. Therefore, more compact inner structure was formed with the increasing modulus (Aydin and Baradan 2014, Bakharev et al. 2000).

Earlier strength values for both compressive and flexural results were found to be higher for low modulus specimens in contrast to later ages as was also reported by different studies (Aydin and Baradan 2014, Bakharev et al. 1999).

NaOH activated alkali reactions can be parted into three segments: First stage consists of the breaking of the bonds of Ca-O, Si-O-Si and Al-O-Al and also Al-O-Si bonds in the binder material. In the second stage, polycondensation occurs which is a results of the precipitation of the products in the solution. Existence of higher soluble Si amount create a difference of hydration products till exhausted (Zhang et al. 2020).

Conclusions derived from this study may be summarized as:

- Mechanical properties were found to be affected from both parameters (Na<sub>2</sub>O/slag ratio and activator modulus). Both parameters are found to be significantly related to both compressive and flexural strength results.
- Best combination of these two parameters were found to be 9% alkali content with a modulus of 2.
- Mechanical properties except 3% alkali content specimens were found to be improved with the increasing activator modulus. However, this effect started to diminish for 12% alkali content specimens which is the maximum alkali level used in this study.
- Early strength values were better for lower modulus specimens with respect to 28-day strength values.
- Flow characteristics of mixtures at the fresh state were adversely affected by the increasing the content of the activator solids although liquid to binder ratios were the same for all mixtures.

## 5. References

- Akçaozöglu, K., Akçaozöglu, S., Acikgoz, A. 2018.** Investigation of hydration temperature of alkali activated slag based concrete. *KSCE J. Civ. Eng.*, 22(8): 2994-3002. Doi: 10.1007/s12205-017-0219-4
- ASTM 1437 2015.** Standard test method for flow of hydraulic cement mortar, *American Society for Testing and Materials*. 12-15. Doi: 10.1520/C1437-15.2
- ASTM 348 2020.** Standard test method for flexural strength of hydraulic-cement mortars, *American Society for Testing and Materials*. Doi: 10.1520/C0348-20
- ASTM 349 2019.** Standard test method for compressive strength of hydraulic-cement mortars (using portions of prisms broken in flexure), *American Society for Testing and Materials*. Doi: 10.1520/C0349-18
- Aydın, S., Baradan, B. 2014.** Effect of activator type and content on properties of alkali activated slag mortar. *Compos. B. Eng.* 57: 166-172. Doi: 10.1016/j.compositesb.2013.10.001
- Babae, M., Castel, A. 2018.** Chloride diffusivity, chloride threshold, and corrosion initiation in reinforced alkali-activated mortars: role of calcium, alkali, and silicate content. *Cem. Concr. Res.*, 111: 56-71. Doi: 10.1016/j.cemconres.2018.06.009
- Bakharev, T., Sanjayan, JG., Cheng, Y. 1999.** Alkali activation of Australian slag cements. *Cem. Concr. Res.* 29(1): 113-120. Doi: 10.1016/S0008-8846(98)00170-7
- Bakharev, T., Sanjayan, JG., Cheng, Y. 2000.** Effect of admixtures on properties of alkali-activated slag concrete. *Cem. Concr. Res.*, 30(9): 1367-1374. Doi: 10.1016/S0008-8846(00)00349-5
- Ben, Haha, M., Le Saout, G., Winnefeld, F., Lothenbach, B. 2011.** Influence of activator type on hydration kinetics, hydrate assemblage and microstructural development of alkali activated blast-furnace slags. *Cem. Concr. Res.* 41(3): 301-310. Doi: 10.1016/j.cemconres.2010.11.016
- Biricik, H., Karapinar, IS., 2020.** Pozzolan activity of central Anatolian volcanic tuff and its usability as admixture in mortar. *Adv. Cem. Res.* 32(3): 91-100. Doi: 10.1680/jadcr.18.00033
- El-Hassan, H., Shehab, E., Al-Sallamin, A. 2018.** Influence of different curing regimes on the performance and microstructure of alkali-activated slag concrete. *J. Mater. Civil Eng.* 30(9): 1-14. Doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002436
- Gao X., Yu QL., Brouwers, HJH. 2015.** Properties of alkali activated slag- fly ash blends with limestone addition. *Cem. Concr. Compos.* 59: 119-128. Doi: doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.01.007
- Jiao, Z., Wang, Y., Zheng, W., Huang W. 2018.** Effect of dosage of sodium carbonate on the strength and drying shrinkage of sodium hydroxide based alkali-activated slag paste. *Constr. Build. Mater.* 179: 11-24. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.194
- Jimenez, AF., Puertas, F. 2003.** Structure of calcium silicate hydrates formed in alkaline activated slag influence of the type of alkaline activator. *J. Am. Ceram. Soc.* 86 (8): 1389-1394. Doi: 10.1111/j.1151-2916.2003.tb03481.x
- Li, N., Shi, C., Zhang, Z., Zhu, D., Hwang, H., Zhu, Y., Sun, T. 2018.** A mixture proportioning method for the development of performance-based alkali-activated slag-based concrete. *Cem. Concr. Compos.* 93: 163-174. Doi: 10.1016/j.cemconcomp.2018.07.009

- Luukkonen, T., Abdollahnejad, Z., Yliniemi J., Kinnunen P., Illikainen M. 2018.** One-part alkali-activated materials: A review. *Cem. Concr. Res.* 103: 21-34. Doi: 10.1016/j.cemconres.2017.10.001
- Shi, C. 1996.** Strength, pore structure and permeability of alkali-activated slag mortars. *Cem. Concr. Res.* 26(12): 1789- 1799. Doi: 10.1016/S0008-8846(96)00174-3
- Taghvayi, H., Behfarnia K., Khalili M. 2018.** The effect of alkali concentration and sodium silicate modulus on the properties of alkali-activated slag concrete. *J. Adv. Concr. Technol.* 16: 293-305. Doi: 10.3151/jact.16.293
- Zhang, Q., Ji, T., Yang, Z., Wang, C., Wu, H. 2020.** Influence of different activators on microstructure and strength of alkali-activated nickel slag cementitious materials. *Constr. Build. Mater.* 235. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117449



# Meme Kanserinin Evrişimsel Sinir Ağı Modelleriyle Tespitinde Farklı Görüntü Büyütme Oranlarının Etkisi

*The Effect of Different Image Magnification Rates in the Detection of Breast Cancer with Convolutional Neural Network Models*

Ali Narin<sup>1,\*</sup> , Safa Kaan Kefeli<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Zonguldak, Türkiye

<sup>2</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Zonguldak, Türkiye

## Öz

Meme kanseri, tüm dünyada oldukça yaygın olan bir kanser türüdür. Çoğunlukla kadınlarda görülen bu kanser türünün erken tespiti oldukça önemlidir. Bu nedenle zorlu ve yorucu olan meme kanseri tespit sürecinde bilgisayar destekli karar mekanizmalarının geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, meme kanseri tespitinde kesin tanının konulmasına yardımcı olmak için bilgisayar tabanlı otomatik bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Sistem için, farklı büyütme miktarlarına sahip gerçek ham histopatolojik görüntüler kullanılmıştır. Bu görüntülerden hangisinin iyi huylu tümör hangisinin kötü huylu tümör olduğuna ön eğitilmiş ResNet50 evrişimsel sinir ağı (Convolutional Neural Network (CNN)) ve ön eğitimsiz VGG16 CNN kullanılarak karar verilmiştir. Bununla beraber veri setindeki 4 farklı büyütme oranlarından (40X, 100X, 200X, 400X) hangi büyütme miktarında daha iyi tespit yapıldığı araştırılmıştır. Sonuç olarak 200X büyütme miktarına sahip veriler için %93,03 doğruluk, %93,03 hassaslık ve %93,03 seçicilik performans değerleri ön eğitilmiş ResNet50 CNN ile tespit edilmiştir. Benzer şekilde ön eğitimsiz VGG16 modelinde ise %93,03 doğruluk, %99,28 hassaslık ve %79,03 seçicilik değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre, önerilen bu sistemin patoloğlara yardımcı bir bilgisayar tabanlı tümör tespit uygulaması olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Derin öğrenme, Meme kanseri, Ön eğitilmiş ResNet50, VGG16

## Abstract

Breast cancer is a very common form of cancer all over the world. Early diagnosis and detection of this type of cancer, which is mostly seen in women, is very important. Therefore, it is significant to develop computer-aided decision mechanisms in the difficult and laborious breast cancer detection process. In this study, an automated computer based decision support system has been designed to help for the diagnosis of breast cancer. For the system, real raw histopathological images with different magnifications have been used. Whichever of these images are benign or malignant tumors has been decided using the pre-trained ResNet50 Convolutional Neural Network (CNN) and VGG16 CNN. However, it has been investigated which magnification amount has been determined better from 4 different magnification rates (40X, 100X, 200X, 400X) in the data set. As a result, 93.03% accuracy, 93.03% sensitivity and 93.03% specificity performance values for 200X magnification data have been determined with the pre-trained Resnet50 CNN. Similarly, 93.03% accuracy, 99.28% sensitivity and 79.03% specificity values have been achieved in the VGG16 model without pre-trained. According to these obtained results, it is thought that this proposed system will be a computer-based tumor detection application to assist pathologists.


**Keywords:** Deep learning, Breast cancer, Pre-trained ResNet50, VGG16

## 1. Giriş

Meme kanseri, kadın ve erkeklerde göğüs hücrelerinde oluşan bir kanser türüdür (Siegel vd. 2017). Çoğunlukla

kadınlarda görülür. Memede oluşan sertlik ve yumru, meme kanserinin ilk belirtilerindedir (Haliloğlu vd. 2019). Bu yapıların, kanser olup olmadığı görüntüleme yöntemlerinden mamografi ve ultrasonografi testleri ile gerçekleştirilir. Yapılan bu testler kesin tanı koymak için yeterli değildir. Kesin tanı koyabilmek için kanserli olduğu düşünülen yapının biyopsisi ile histopatolojik incelemesi

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [alinarin45@gmail.com](mailto:alinarin45@gmail.com)

Ali Narin  [orcid.org/0000-0003-0356-2888](https://orcid.org/0000-0003-0356-2888)

Safa Kaan Kefeli  [orcid.org/0000-0002-1351-2860](https://orcid.org/0000-0002-1351-2860)

yapılır (Lipponen vd. 1994). Patoloji uzmanları tarafından incelenen dokunun iyi huylu (benign) mu veya kötü huylu (malign) mu olduğu mikroskop altında çeşitli büyütme eşliğinde test edilir (Wan vd. 2017, Rahlal 2018). Bu işlemler sonucunda köyü huylu tümöre sahip olduğu tespit edilen kişinin, hemen tedavi altına alınması gerekmektedir. Aksi halde vücudun diğer taraflarına yayılması ile birlikte önlenemez bir hal almasına neden olabilir. Tedavi için iki yöntem söz konusudur. Bunlardan biri tümörün yayılmasını engelleyen kimyasal tedavidir. Diğeri kanserli olan yerin cerrahi yöntemlerle alınmasıdır ki bu yöntem daha kesin bir yöntemdir.

Tüm dünyada alınan çok çeşitli önlemler ve farkındalıklar sayesinde ölüm oranlarının düşmesine rağmen, hala meme kanserine yakalananların sayısı çok fazladır. Tahminen 2019 yılında sadece ABD'de yaklaşık 268,600 kadının meme kanserine yakalandığı ve 41,760 kişinin bu kanserden öldüğü rapor edilmiştir (DeSantis vd. 2019).

Meme kanserinin tespiti genellikle manuel yöntemlerle yapılmaktadır. Bu iş zaman alıcı olduğu kadar yorucu bir iştir. En ufak bir dikkatsizlikte hastalığın yanlış teşhis edilmesine neden olabilir. Bu sebeple araştırmacılar, bilgisayar destekli otomatik teşhis sistemleri geliştirmişlerdir. Özellikle son yıllarda derin öğrenme tabanlı modellerin Elektrokardiyogram (EKG), Elektroensefalogram (EEG) gibi biyolojik işaretlere ve Manyetik Rezonans Görüntüleme (MR), röntgen gibi görüntülere uygulandığı çalışmalar literatürde yerini almaktadır (Hammad vd. 2020, Talo vd. 2019, Michielli vd. 2019, Narin vd. 2020). Aynı şekilde meme kanseri tespiti için öznelilik çıkarımı ile yapılan geleneksel olarak bilinen çalışmaların yanında, derin öğrenme tabanlı yöntemlerle de yapılmış çalışmalar vardır (Spanhol vd. 2016, Bayramoğlu vd. 2016, Spanhol vd. 2017, Gour vd. 2020). Veri sayısının az olduğu ilk zamanlarda geleneksel yöntemlerle çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Geleneksel yöntemler içerisinde sınıflandırıcı olarak çoğunlukla k-en yakın komşu, Naive Bayes, karar ağaçları, geri yayımlı çok katlı algılayıcı ağlar, olasılıksal sinir ağları ve destek vektör makina algoritmalarının kullanıldığını görülmektedir (George vd. 2014, Hang ve Lai 2010, Rashmi vd. 2020).

Meme kanseri türü üzerine derin öğrenme modelleri ilk olarak 2016 yılında BreakHis adı verilen 82 kanser hastasından alınan toplam 7909 adet iyi huylu ve kötü huylu tümör verileriyle başlanmıştır. Bu alanda ilk çalışmayı bu verileri erişime açan Spanhol ve arkadaşları gerçekleştirmiştir (Spanhol vd. 2016). Çalışmalarında, derin CNN'in en temel modellerinden biri olan AlexNet modelini kullanmışlardır.

Çalışma içerisinde olan farklı büyütme oranları için sırasıyla, 40X'lik büyütme oranında %85,6, 100X'lik büyütme oranında %83,5, 200X'lik büyütme oranında %82,7 ve son olarak 400X'lik büyütme oranında %80,7 doğruluk değerlerine ulaşmışlardır. AlexNet ile elde edilen sonuçların geleneksel yöntemlerden daha iyi performans sergilediğini ifade etmişlerdir. Bayramoğlu ve arkadaşları ise CNN ve çok amaçlı CNN olmak üzere iki farklı mimari ile çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Yazarlar farklı büyütme miktarlarına göre de sonuçları detaylı bir şekilde sundular. Histopatolojik görüntülerin iyi huylu mu yoksa kötü huylu mu olduklarını sayısal sonuçlar vererek destekleyen bu araştırmacılar 200X büyütme oranında en yüksek  $84,63 \pm 2,72$  başarımla elde ettiler. Tüm büyütme oranlarında ortalama %83,25 doğruluk değerine ulaştılar. Verilerin doğrudan kullanılması ve sonuçların geleneksel yöntemlerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabileceklerini ifade ettiler (Bayramoğlu vd. 2016). Bir diğer çalışmalarında Spanhol ve arkadaşları, deCAF dedikleri derin öğrenme modelinden öznelilikler çıkarıp, önceden eğitilmiş CaffeNet modelini kullanmışlardır. Sonuçta 200X büyütme oranında en yüksek 90,3% F-skor (F1) başarımla elde ettiler (Spanhol vd. 2017). Gour ve arkadaşları meme kanseri histopatolojik görüntülerinin iyi huylu veya kötü huylu olup olmadıklarını adına ResHist dedikleri 152 katmanlı CNN ile gerçekleştirmişlerdir. ResHist modelinin, histopatolojik görüntülerin ayırımında oldukça başarılı ve ayırt edici olduğunu göstermişlerdir. Sonuç olarak veri artırımı yapılmadan %84,34 doğruluk değeri elde etmişken, veri artırımı yöntemi ile %92,52 doğruluk değerini elde etmişlerdir (Gour vd. 2020).

Gerçekleştirilen bu çalışmada, meme kanserinin erken tespit edilmesinin öneminden yola çıkarak, farklı büyütme oranlarına sahip görüntülerin yer aldığı (Meme Kanseri Histopatolojik Görüntü Sınıflandırması (BreakHis)) verileri kullanarak tümörün iyi huylu veya kötü huylu olup olmadığını belirlemek için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Farklı büyütme oranlarından hangisinin tespit başarımının daha yüksek olduğu iki farklı derin öğrenme modeli ile kıyaslanmıştır. Derin öğrenme modellerinden özellikle önceden eğitilmiş model olan ResNet50 ve ön eğitimli olmayan VGG16 modeli kullanılmıştır. Bu çalışmada ayrıca, histopatolojik verilerden hangi büyütme oranının, sınıflar arası ayrımı daha iyi ifade ettiğini araştırmanın yanında, iki modelin kıyaslanması da amaçlanmıştır. Çalışmanın öne çıkan yönleri özetlenirse:

- i) Hem ön-eğitilmiş hem de ön eğitimsiz iki model kullanılmıştır.

- ii) Doğrudan ham veri üzerinden uçtan uca denilen bir sistem ile çalışma yapılmıştır.
- iii) Herhangi bir öznitelik çıkarımı işlemi bulunmamaktadır.
- iv) Çalışılan modellerin 40X, 100X, 200X ve 400X büyütme oranlarındaki sınıflandırma doğrulukları araştırılmıştır.

Makalenin devamında, kullanılan veri seti ve özelliklerinden, çalışmada kullanılan ön eğitilmiş Resnet50 ve ön eğitimsiz VGG16 modellerinin mimarilerinden, elde edilen deneysel sonuçlardan bahsedilecektir. Son olarak elde edilen bulguların tartışmasına yer verilecektir.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Veri seti

Çalışmada, “Meme Kanseri Histopatolojik Görüntü Sınıflandırması (BreakHis)” veri seti (<https://web.inf.ufpr.br/vri/databases/breast-cancer-histopathological-database-breakhis/>) kullanılmıştır (Spanhol vd. 2016, Spanhol vd. 2016b). Veri seti içinde iyi huylu ve kötü huylu olmak üzere toplam 7909 adet histopatolojik tümör görüntüsü bulunmaktadır (Çizelge 1). Görüntüler farklı büyütme oranlarına sahip olmakla birlikte (40X, 100X, 200X ve 400X), 700x460 piksel boyutundadır.

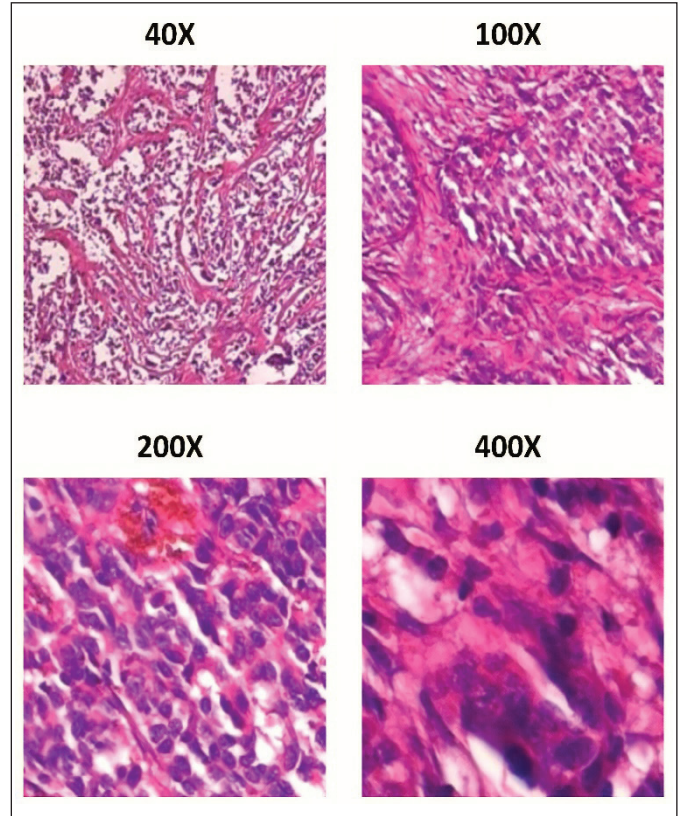
**Çizelge 1.** Veri setini oluşturan sınıflar ve sayıları.

Büyütme Miktarı	İyi huylu	Kötü huylu	Toplam
40X	625	1370	1995
100X	644	1437	2081
200X	623	1390	2013
400X	588	1232	1820
<b>Toplam</b>	2480	5429	7909

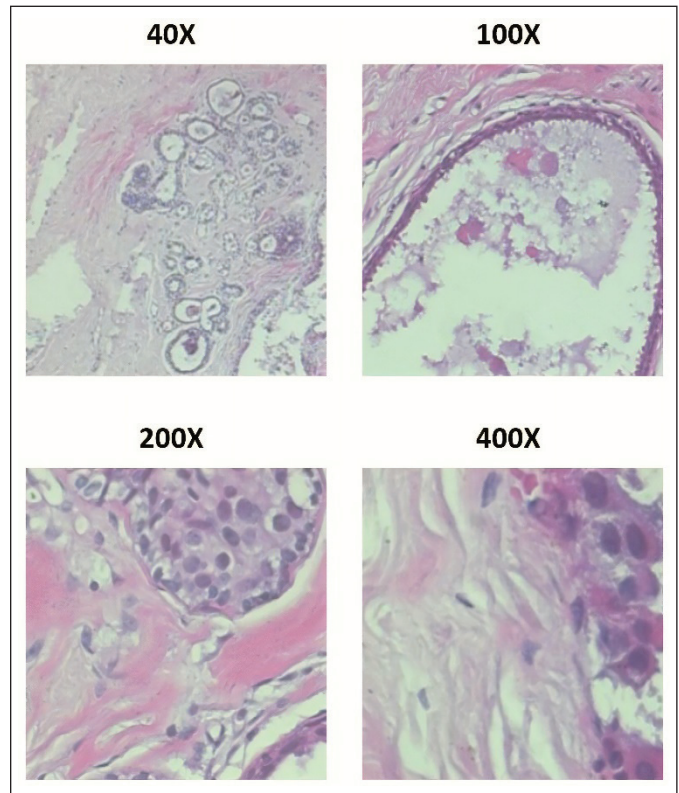
Şekil 1’de, iyi huylu tümöre ait farklı büyütme miktarına sahip görüntüler gösterilmişken, Şekil 2’de kötü huylu tümöre ait farklı büyütme miktarına sahip görüntüler gösterilmiştir.

### 2.2. Ön Eğitilmiş ResNet50 CNN Modeli

ResNet50 CNN modelinin ismi, artık değerli nöral ağların (residual neural network) kısaltmasından oluşmaktadır. İçerisinde çok miktarda evrimsel sinir ağı bulunan geliştirilmiş bir CNN versiyonudur (He vd. 2016). Katmanlar arasında geçişlerin olması ResNet modellerinde ağı derinleştirmektedir. Bu geçişler sayesinde derinleşen ağda meydana gelebilecek bozulmalar önlenmektedir. Bu



**Şekil 1.** İyi huylu tümöre ait görüntüler.

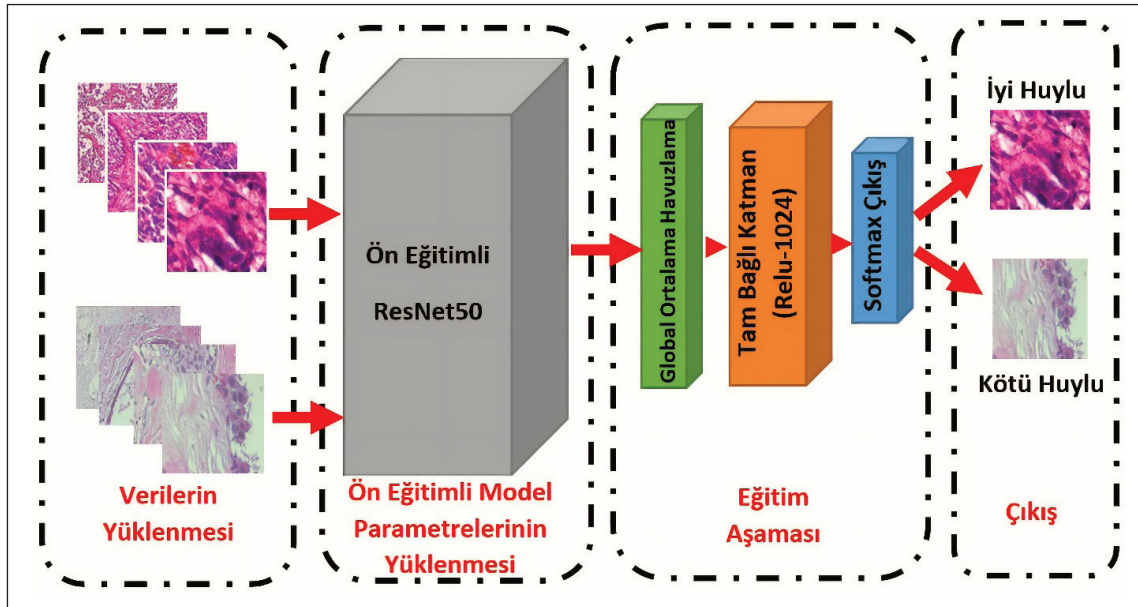


**Şekil 2.** Kötü huylu tümöre ait görüntüler.

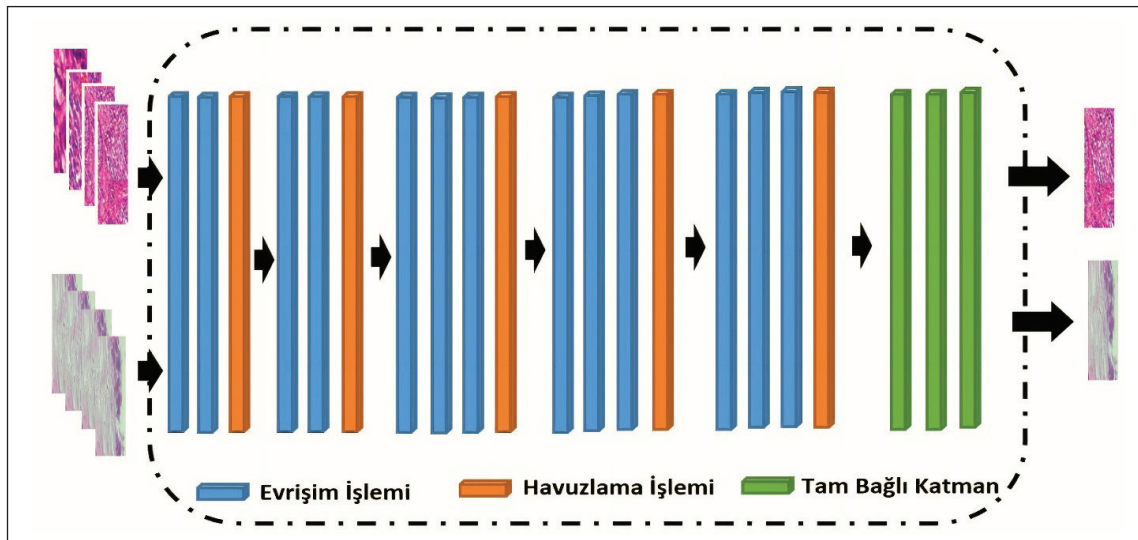
modellerde eğitimin hızlı gerçekleşmesi için darboğaz (bottleneck) denilen bloklar kullanılır. ResNet50 modelinde yaklaşık 23 milyon parametre hesabı yapılmaktadır. Ön eğitilmiş ResNet50 modeli, ImageNet veri kümesi üzerinde eğitilmiş 50 katmanlı bir ağıdır. ImageNet, görüntü tanıma yarışmaları için oluşturulmuş 20 binden fazla kategoriye ait 14 milyondan fazla resmin bulunduğu bir görüntü veri tabanıdır (Russakovsky vd. 2015). Bu çalışmada kullanılan ön eğitilmiş ResNet50 modeli Şekil 3'de gösterilmiştir. İki kısımdan oluşan bu modelde, birinci kısımda ImageNet veri tabanı üzerinden eğitilmiş ResNet50 modeli ve ikinci kısımda yani eğitim aşaması kısmında meme kanseri türü için önerdiğimiz ağı model bulunmaktadır.

### 2.3. Ön Eğitilmiş VGG16 CNN Modeli

VGG16 CNN modelinde 2'li ya da 3'lü evrişim katmanları kullanılmaktadır (Simonyan ve Zisserman 2014). İki tam bağlantı katmanı çıkışında 1000 sınıflı Softmax başarımlı hesaplanır. Diğer bir ifade ile modelin son katmanında Softmax diye bilinen aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesiyle çıkışlar elde edilir. Yaklaşık 138 milyon parametre hesabı yapılmaktadır. Şekil 4'de VGG16 mimarisi verilmiştir. Diğer modellerde olduğu gibi girişten çıkışa doğru matrislerin yükseklik ve genişlik boyutları azalırken derinlik değeri (kanal sayısı) artmaktadır.



Şekil 3. Ön Eğitilmiş ResNet50 modelinin gösterimi.



Şekil 4. VGG16 CNN mimarisi.



## 2.4. Performans Ölçütleri

Derin öğrenme modellerinin performansları için 3 ölçüt kullanılmıştır (Duda vd. 2001). Bunlar:

$$\text{Hassaslık (SEN)} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (1)$$

$$\text{Seçicilik (SPE)} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (2)$$

$$\text{Doğruluk (ACC)} = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \quad (3)$$

Burada, Gerçek pozitif (TP), gerçek negatif (TN), yanlış negatif (FN) ve yanlış pozitif (FP). Bu değerler bizim problemimiz için ele alınırsa, kötü huylu (pozitif) bir tümörün kötü huylu olarak tespiti (TP), iyi huylu (negatif) bir tümörün iyi huylu olarak tespiti (TN) ile gösterilir. İyi huylu bir tümörün kötü huylu olarak tespiti (FP) ve Kötü huylu bir tümörün iyi huylu olarak tespiti ise (FN) olarak ifade edilir (İşler ve Narin 2012, Narin vd. 2014).

## 3. Bulgular

Bu çalışmada, modellerin oluşturulması ve sonuçların elde edilmesi için Python programlama dili kullanılmıştır. Google Colab üzerinden herkesin ücretsiz (12 saat) bir şekilde kullanabileceği Tesla K80 grafik işlemcisi üzerinde Tensorflow-Keras kütüphanesi kullanılarak çalışmanın tamamı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, meme kanseri histopatolojik görüntülerinden oluşan BreakHis veri seti kullanılmıştır. Veri seti içerisinde 4 farklı büyütme miktarlarına sahip veriler bulunmaktadır. Derin öğrenme modellerinde eğitim sürecinin sağlıklı gerçekleşmesi için veri sayısının fazla olması istenir. Bu nedenle, her bir büyütme miktarı verilerinin %90'ı modellerin eğitimi için ayrılırken %10'u ise eğitilen modellerin testi için ayrılmıştır. Ayrılan bu veriler ile ön eğitilmiş ResNet50 modeli ve ön eğitilmiş VGG16 modeli ile eğitim ve test aşamaları gerçekleştirilmiştir. Burada en önemli konulardan biri bu aşamaların uçtan uca denilen bir süreçle gerçekleşmesidir. Yani, herhangi bir harici öznitelik çıkarımı yada segmentasyon işlemi olmadan modele giren veri, model içerisindeki katmanlarda eğitilir ve sınıflandırma işlemi ile birlikte modelin son katmanında çıktı olarak sunulur.

Her iki modelin eğitimi sırasında aşırı öğrenme probleminden kaçınmak için eğitim aşaması 30 devir (epochs) için gerçekleştirildi. Tüm histopatolojik görüntüler, veri setinde sunulan 700x460 piksel boyutundan 224x224 piksel boyutuna dönüştürülmüştür. Modellerin öğrenme oranı

(learning rate) ise 0,0001 olarak alınmıştır. Modellerin eğitiminde ağırlıkların optimize edilmesi ADAM algoritması ile yapılmıştır.

Ön eğitilmiş ResNet50 ile VGG16 modeline ait 40X, 100X, 200X ve 400X büyütme oranına sahip veriler için 30 devirlik eğitim sürecindeki doğruluk grafikleri Şekil 5'de verilmiştir. Ön eğitilmiş ResNet50 modelinin başlangıç doğruluk değerleri ve genel eğitim başarımları değerleri ön eğitilmiş VGG16 modeline göre daha yüksektir. Ön eğitilmiş ResNet50 modeli ortalama 10 devir sonra %100 eğitim başarımlarına sahip olurken, ön eğitilmiş VGG16 modeli ise 5. devirden sonra çok daha yavaş öğrendiği görülmektedir. Burada, ön eğitilmiş modelin çok hızlı öğrendiğini ve ön eğitilmiş modelin ise çok daha yavaş öğrendiğini ifade edebiliriz. Benzer şekilde, eğitim süresindeki kayıp değerleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi ön eğitilmiş ResNet50 modelinin ön eğitilmiş VGG16 modeline göre çok daha iyi eğitim performansı gösterdiği görülmektedir. Her iki şekilden de 200X büyütme oranına sahip verilerin diğer büyütme oranına sahip verilerden daha yüksek olduğu söylenebilir.

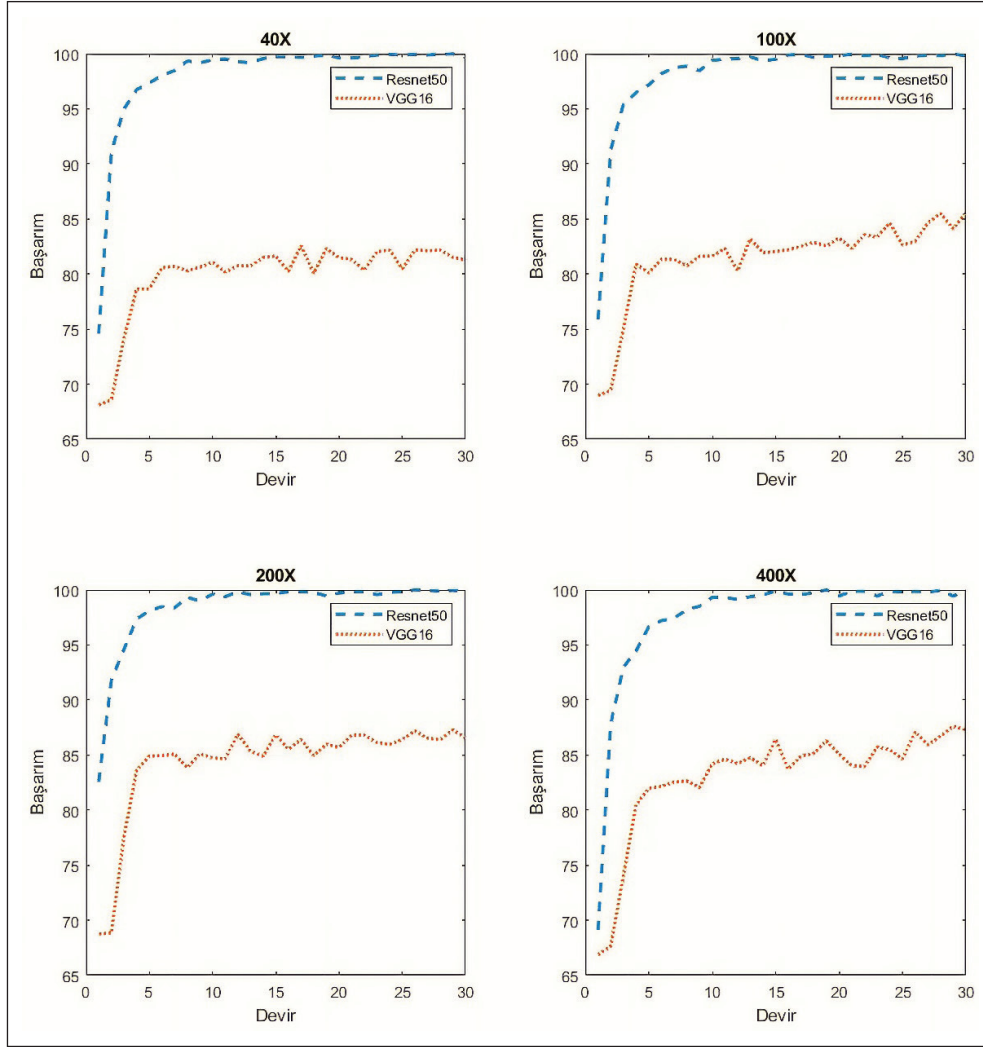
Hem büyütme hem iki farklı derin öğrenme modeli ile elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de detaylı bir şekilde verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, kötü huylu tümörlerin %99 oranında doğru tespit edildiği gözlemlenirken, İyi huylu tümörlerinde ise %93 oranından doğru tespit edildiği görülmektedir. 200X büyütme oranına sahip görüntülerin performanslarının diğer büyütme oranına sahip görüntülerden daha iyi olduğu söylenebilir. VGG16 modelinin de aslında eğitim sürecindeki düşük başarımları test verilerinde göstermediğini görülmektedir. Bunun nedeni ön eğitilmiş modellerin eğitim süreçlerinin daha geç olmasına karşı daha sağlam olmasıdır. Fakat verilerin çok daha sınırlı olan uygulamalarında iyi sonuçlar vermediği bilinmektedir. Bu problemlerin çözümü için ön eğitilmiş modeller kullanılmaktadır. Çalışmada bu yön düşünülerek ön eğitilmiş model kullanılması uygun görüldü. Ön eğitilmiş VGG16 modeli eğitim sürecinde her ne kadar düşük olsa da test edilen verilerde aslında modelin iyi bir şekilde öğrendiği söylenebilir.

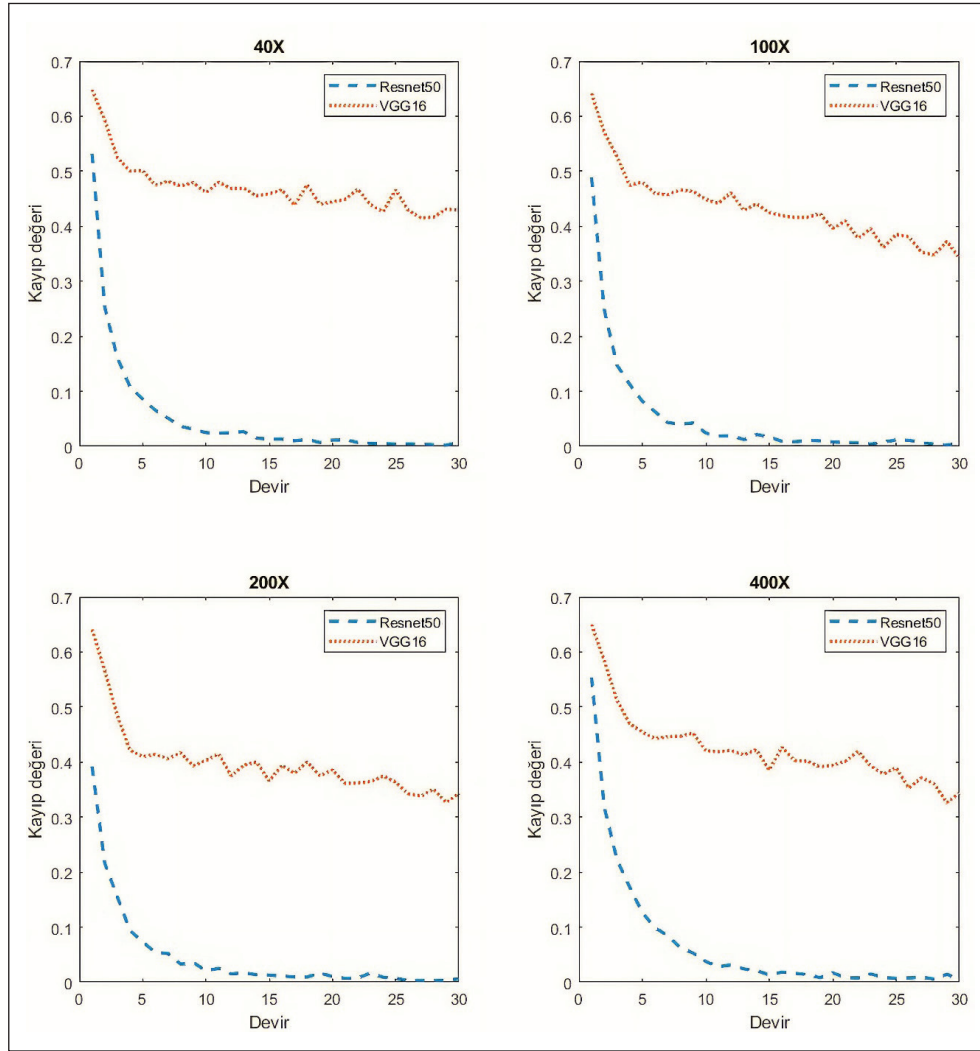
## 4. Tartışma

Meme kanseri türü tespiti konusunda son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında, genel olarak çalışmaların derin öğrenme modelleri üzerine odaklandığı görülmektedir (Çizelge 3). Bu çalışmalardan Deniz ve arkadaşları, transfer öğrenme denilen ön eğitilmiş AlexNet ve VGG16 CNN'yi

**Çizelge 2.** Büyütme miktarlarına göre modellerin test performansları.

Model	Büyütme Miktarı	TP	TN	FP	FN	Doğruluk ACC(%)	Hassaslık SEN(%)	Seçicilik SPE(%)
<b>Ön Eğitimli Resnet50</b>	40X	136	31	31	1	83,92	99,27	50,00
	100X	134	40	24	9	84,06	93,71	62,50
	200X	129	58	4	10	<b>93,03</b>	92,81	93,55
	400X	106	42	16	17	81,77	86,18	72,41
<b>Ön Eğitimsiz VGG16</b>	40X	131	41	21	6	86,43	95,62	66,13
	100X	141	51	13	2	92,75	98,60	79,69
	200X	138	49	13	1	<b>93,03</b>	<b>99,28</b>	79,03
	400X	115	41	17	8	86,19	93,50	70,69

**Şekil 5.** 40X, 100X, 200X ve 400X büyütme miktarlarına göre modellerin eğitim başarımları.



**Şekil 6.** 40X, 100X, 200X ve 400X büyütme miktarlarına göre modellerin eğitim kayıp değerleri.

kullanarak elde ettikleri öznelikleri destek vektör makinelere sınıflandırıcısı yardımıyla sınıflandırıp sonuçta 200X büyütme oranında en yüksek %91,37 doğruluk değerini elde etmişlerdir (Deniz vd. 2018). Spanhol ve arkadaşları AlexNet için en yüksek 40X'lik büyütme oranında %85,6 doğruluk değerlerine ulaşmışlardır ve bir diğer çalışmalarında Spanhol ve arkadaşları, deCAF dedikleri derin öğrenme modelinden öznelikleri çıkarıp, önceden eğitilmiş CaffeNet modelini kullanmışlardır. Sonuçta 200X büyütme oranında en yüksek 90,3% başarımlarını elde etmişlerdir (Spanhol vd. 2016, Spanhol vd. 2017). Bayramoğlu ve arkadaşları iki farklı evrimsel model ile en yüksek 200X büyütme oranında %84,63±2,72 başarımlarını elde ettiler (Bayramoğlu vd. 2016). Gour ve arkadaşları ResHist adını verdikleri 152 katmanlı CNN ile veri artırımı yapılmadan %84,34 doğruluk değeri elde etmişken, veri artırımı yöntemi ile %92,52 doğruluk değerini elde etmişlerdir (Gour vd. 2020). Gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada ise 200X büyütme miktarında %93,03

doğruluk değeri elde edilerek, güncel literatürdeki çalışmalardan daha yüksek sınıflandırma başarımları elde edilmiştir. Bunun yanı sıra ön eğitilmiş model olan ResNet50 ve ön eğitimsiz VGG16 modelinin karşılaştırılması yapılmış olup ön eğitilmiş ve eğitimsiz modellerin eğitim süreçlerini ve sonuçları detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Literatürde ise bu türden bir karşılaştırma yapılmamış olmakla birlikte ya ön eğitimsiz modeller ya da ön eğitilmiş modeller kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Genel olarak literatürde yapılan çalışmalarda 200X büyütme miktarına sahip görüntülerin iyi ya da kötü huylu meme kanserini ayırt etmede daha yüksek başarımlara ulaştığı görülmektedir. Benzer şekilde bu çalışmada da 200X büyütme miktarındaki görüntülerin diğer büyütme oranlarına göre daha yüksek başarımlara sahip olduğu gösterilmiştir. Bunlara ek olarak, çalışmada kullanılan veri setinin genişletilmesiyle, elde edilen başarımların daha da artacağı öngörülmektedir.

**Çizelge 3.** Elde edilen sonuçların aynı veri seti ile yapılmış literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılması.

Çalışma	Büyütme Miktarı	Kullanılan Yöntem	Doğruluk (ACC) (%)
(Deniz vd. 2018).	200X	AlexNet ve VGG16 CNN Modelleri	91,37
(Spanhol vd. 2016)	40X	AlexNet CNN Modeli	85,60
(Spanhol vd. 2017)	200X	deCAF + CaffeNet CNN Modeli	90,30
(Bayramoğlu vd. 2016).	200X	Tek Görevli ve Çok Görevli CNN Modelleri	84,63
(Gour vd. 2020)	100X	ResHist CNN Modeli	84,34
	200X	ResHist CNN + Veri Artırımı	92,52
<b>Bu çalışma</b>	<b>200X</b>	<b>Ön eğitilmiş ResNet50 CNN</b>	<b>93,03</b>
<b>Bu çalışma</b>	<b>200X</b>	<b>Ön eğitimsiz VGG16 CNN</b>	<b>93,03</b>

Önerilen bu yöntemin en önemli kolaylıklarında biri de verilerin ham olarak yani doğrudan kullanılabilir olmasıdır. Sonucun ise bir bütünü çıktısı olarak alınabilmesidir. Bu yönüyle patolojilere kullanım kolaylığı sağlayacağını da düşünmekteyiz. Gelecekteki çalışmalarda ise farklı CNN modelleri ve parametreleri ile çalışma daha detaylı bir şekilde ele alınabilir.

## 5. Kaynaklar

- Al Rahhal, MM. 2018.** Breast cancer classification in histopathological images using convolutional neural network. *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.* 9(3): 1-5. Doi: 10.14569/IJACSA.2018.090310
- Bayramoğlu, N., Kannala, J., Heikkilä, J. 2016.** Deep learning for magnification independent breast cancer histopathology image classification. *23rd International conference on pattern recognition (ICPR)*, pp: 2440-2445. Doi: 10.1109/ICPR.2016.7900002
- Deniz, E., Şengür, A., Kadiroğlu, Z., Guo, Y., Bajaj, V., Budak, Ü. 2018.** Transfer learning based histopathologic image classification for breast cancer detection. *Health Inf. Sci. Syst.* 6(18): 1-7. Doi: 10.1007/s13755-018-0057-x
- DeSantis, CE., Ma, J., Gaudet, MM., Newman, LA., Miller, KD., Goding Sauer, A., Siegel, RL. 2019.** Breast cancer statistics, 2019. *Cancer J. Clin.* 69(6): 438-451. Doi: 10.3322/caac.21583
- Duda, RO., Hart, PE., Stork, DG. 2001.** Pattern classification, John Wiley and Sons, 2nd ed, New York, USA, 255 pp.
- George, M., Zayed, H., Roushdy, I., Elbagoury, M. 2014.** Remote computer-aided breast cancer detection and diagnosis system based on cytological images. *IEEE Syst. J.* 8(3): 949-964. Doi: 10.1109/JSYST.2013.2279415
- Gour, M., Jain, S., Kumar, TS. 2020.** Residual learning based CNN for breast cancer histopathological image classification. *Int. J. Imag. Syst. Tech.* 2020: 1-15. Doi: 10.1002/ima.22403
- Haliloglu, N., Ustuner, E., Ozkavukcu, E. 2019.** Breast ultrasound during lactation: benign and malignant lesions. *Breast Care.* 14(1): 30-34. Doi: 10.1159/000491781
- Hammad, M., Pławiak, P., Wang, K., Acharya, UR. 2020.** ResNet-Attention model for human authentication using ECG signals. *Expert Syst.* 2020: 125-147. Doi: 10.1111/exsy.12547
- He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. 2016.** Deep residual learning for image recognition. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp: 1-4. Doi: 10.1109/cvpr.2016.90
- Huang, PW., Lai YH. 2010.** Effective segmentation and classification for HCC biopsy images. *Pattern Recognit.* 43(4): 1550-1563. Doi: 10.1016/j.patcog.2009.10.014
- İşler, Y., Narin, A., Özer, M., Perc, M. 2019.** Multi-stage classification of congestive heart failure based on short-term heart rate variability. *Chaos Soliton Fract.* 118: 145-151. Doi: 10.1016/j.chaos.2018.11.020
- Lipponen, P., Aaltomaa, S., Kosma, VM., Syrjänen, K. 1994.** Apoptosis in breast cancer as related to histopathological characteristics and prognosis. *Eur. J. Cancer* 30(14): 2068-2073. Doi: 10.1016/0959-8049(94)00342-3
- Michielli, N., Acharya, UR., Molinari, F. 2019.** Cascaded LSTM recurrent neural network for automated sleep stage classification using single-channel EEG signals. *Comput. Biol. Med.* 106: 71-81. Doi: 10.1016/j.combiomed.2019.01.013
- Narin, A., İşler, Y., Özer, M. 2014.** Konjestif kalp yetmezliği teşhisinde kullanılan çapraz doğrulama yöntemlerinin sınıflandırıcı performanslarının belirlenmesine olan etkilerinin karşılaştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 16(48): 1-8.

- Narin, A., Kaya, C., Pamuk, Z. 2020.** Automatic detection of coronavirus disease (COVID-19) using X-ray images and deep convolutional neural networks. *arXiv preprint arXiv:2003.10849*.
- Rashmi, R., Prasad, K., Udupa, CBK., Shwetha, V. 2020.** A comparative evaluation of texture features for semantic segmentation of breast histopathological images. *IEEE Access* 8: 64331-64346. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2984522
- Russakovsky, O., Deng, J., Su, H., Krause, J., Satheesh, S., Ma, S., Huang, Z., Karpathy, A., Khosla, A., Bernstein, M., Berg, A.C., Fei-Fei, L. 2015.** Imagenet large scale visual recognition challenge. *Int. J. Comput. Vis.* 115(3): 211-252. Doi: 10.1007/s11263-015-0816-y
- Siegel, RL., Miller, KD., Jemal, A. 2017.** Cancer statistics, 2017. *Cancer J. Clin.* 67(1): 7-30. Doi: 10.3322/caac.21395.
- Simonyan, K., Zisserman, A. 2014.** Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv: Comp. Res. Repository*, abs/1409.1556.
- Spanhol, FA., Oliveira, LS., Petitjean, C., Heutte, L. 2016.** Breast cancer histopathological image classification using convolutional neural networks. *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, pp: 2560-2567, Vancouver, Canada. Doi: 10.1109/IJCNN.2016.7727519
- Spanhol, FA., Oliveira, LS., Petitjean, C., Heutte, L. 2016b.** A dataset for breast cancer histopathological image classification. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 63(7): 1455-146. Doi: 10.1109/TBME.2015.2496264
- Spanhol, FA., Oliveira, LS., Cavalin, PR., Petitjean, C., Heutte, L. 2017.** Deep features for breast cancer histopathological image classification. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, pp: 1868-1873, Banff, Canada. Doi: 10.1109/SMC.2017.8122889
- Talo, M., Yildirim, O., Baloglu, UB., Aydin, G., Acharya, UR. 2019.** Convolutional neural networks for multi-class brain disease detection using MRI images. *Comput. Med. Imaging Graph.* 78: 101673-101685. Doi: 10.1016/j.compmedimag.2019.101673
- Wan, T., Cao, J., Chen, J., Qin, Z. 2017.** Automated grading of breast cancer histopathology using cascaded ensemble with combination of multi-level image features. *Neurocomputing* 229: 34-44. Doi: 10.1016/j.neucom.2016.05.084



# Finite Elements Modeling and Analysis of an Axially Loaded Prestressing Strand

## *Eksenel Yüklü Bir Öngerilmeli Demetin Sonlu Elemanlar Modellenmesi ve Analizi*

Abdullah Tombak<sup>1</sup> , Yusuf Aytaç Onur<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup>Zonguldak Bülent Ecevit University, Alaplı Vocational School, Department of Motor Vehicles and Transport Technologies, Zonguldak, Turkey

<sup>2</sup>Zonguldak Bülent Ecevit University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Zonguldak, Turkey

### Abstract

Wire ropes and strands have found an important place in many different engineering disciplines with their strengths and flexibilities. Ropes are frequently used in elevators, cranes and bridges as material handling equipment due to their constructional advantages. The purpose of this study is to reveal mechanical behavior of a prestressing steel strand subjected to axial tension load by means of finite elements method. Twisting moment, wire stress, wire strain at each layer of investigated prestressing strand and safety factors have been determined. It can be concluded that safety factors are 2.44 for frictional contact condition and 2.39 for frictionless contact condition in accordance with total axial load carried.

**Keywords:** Finite elements method, Prestressing strand, Safety factor, Wire rope

### Öz

Tel halatlar ve demetler, mukavemetleri ve elastikiyetleri ile çoğu mühendislik disiplinlerinde önemli bir yer bulmuşlardır. Halatlar, konstrüksiyonel avantajları nedeniyle, asansörler, vinçler ve köprülerde malzeme taşıma ekipmanı olarak sıklıkla kullanılırlar. Bu çalışmanın amacı, sonlu elemanlar metodu ile eksenel çekme yüküne maruz bir öngerilmeli çelik demetin mekanik davranışını ortaya koymaktır. İncelenen öngerilmeli demetin her kademesindeki burulma momenti, tel gerilmesi, tel birim şekil değiştirmesi ve emniyet katsayıları tespit edilmiştir. Taşınan yüke göre sürtünmeli temas durumunda emniyet katsayısının 2.44, sürtünmesiz temas durumunda 2.39 olduğu sonucu çıkarılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Sonlu elemanlar metodu, Öngerilmeli demet, Emniyet katsayısı, Tel halat

### 1. Introduction

It is very important to know the safely transportation limits and maximum load lifting capacities of steel wire ropes. In particular, steel wire ropes have flexible structure and consist of many wires to share the total carried load in order to increase operational safety. Steel wire ropes and strands are widely used as hauling element for lifting and transporting loads due to their flexibility and comfortable usage. The strand is manufactured by winding a number of thin steel wires around the center wire in one or more layers at various pattern (Cürgül 1995, Onur 2019).

Various experimental, analytical and numerical studies have been conducted to attain to strength and lifetime values

occurred on strands and wire ropes by means of computer simulations. Ghoreishi et al. (2007) evaluated the validity the results from nine linear elastic models of a 6+1 wire single layered strand (simple straight strand) subjected to static axial loads being compared with values from 3D finite element modeling. Wang et al. (2015) CATIA V5 and MATLAB were used for implementation of derived geometric equations and calculation of mathematic optimal rope models. Elata et al. (2004) proposed a new model for simulating the mechanical response of a wire rope with an independent wire rope core. In contrast with previous models that consider the effective response of wound strands, their model fully considers the double-helix configuration of individual wires within the wound strand. Jiang et al. (1999) presented an accurate and general strand model using the finite element method. The model was capable of predict the global behavior of simple straight. Jiang et al. (2000)

\*Corresponding author: [aytaconur@hotmail.com](mailto:aytaconur@hotmail.com)

Abdullah Tombak  [orcid.org/0000-0002-9381-4729](https://orcid.org/0000-0002-9381-4729)

Yusuf Aytaç Onur  [orcid.org/0000-0001-7522-8411](https://orcid.org/0000-0001-7522-8411)

presented concise finite element model of three-layered straight helical wire rope strand under axial loads. Stanova (2013) tried to implement computer-aided modeling of ropes which have oval, circular and triangular shaped wires by means of ProEngineer Wildfire software. Vukelic and Vizentin (2017) considered three design types of wire (6x7, 7x7, 8x7) to investigate the effect of cross-section area reduction on stress levels. Von Mises stress was obtained using finite element analysis (FEA). Ziegler and Wehking (2006) modeled the spiral rope having 1x19 structure and ANSYS was used to provide knowledge of the stresses in investigated rope. Shi et al. (2017) proposed strand-traction sheave interaction model and simulations with Abaqus software were performed to reveal investigate effects of pretension and groove angle values on the traction behavior. Kastratovic and Vidanovic (2011) explored some aspects of 3D modeling of independent wire rope core (IWRC) by using CATIA and Ansys with special emphasis on different types of contacts and different types of axial loading. Onur (2016) investigated the response of the prestressing strands to axial tensile load theoretically and experimentally. Onur et al. (Onur et al. 2017, Onur and İmrak 2017, Onur et al. 2019) put effort to determine fatigue lifetime of steel wire ropes subjected to bending over sheave fatigue. Wokem (2015) studied on finite element modeling, analysis and fatigue prediction of wire ropes and strands. Erdönmez (2010) tried to mathematically formulate path of each wire of steel wire ropes in Frenet-Serret frame. Erdönmez and İmrak (2011) presented a more realistic three-dimensional modeling approach and finite element analysis of independent wire rope core. Demir and Ala (2017) performed theoretical and experimental natural frequency analysis of prestressed monoton ropes with single helix angles and different diameters. The purpose of this paper is to investigate mechanical response of a prestressing strand under tensile load through finite element method. Prestressing strand is computer aided modeled and stress analyses have been carried out using the Ansys Workbench and safety factors have been determined. In the stress analysis, friction and frictionless situations are considered separately.

## 2. Finite Elements Analysis of Prestressing Strand

Prestressing steel strand is used in bridges, concrete structures, nuclear power stations, water tanks, anchorages and hoisting member for lifting heavy loads. It consists of one center wire which is also known as core wire and six helical wires wrapped around center wire. ASTM A416 standard (2012) covers dimensions and some mechanical

properties of prestressing strands. In this study, 11.11 mm diameter prestressing strand is adopted to determine twisting moment, wire stress and wire strain at each layer of strand by virtue of FEA. Some properties of investigated prestressing strand is given in Table 1.

**Table 1.** Properties of investigated prestressing strand.

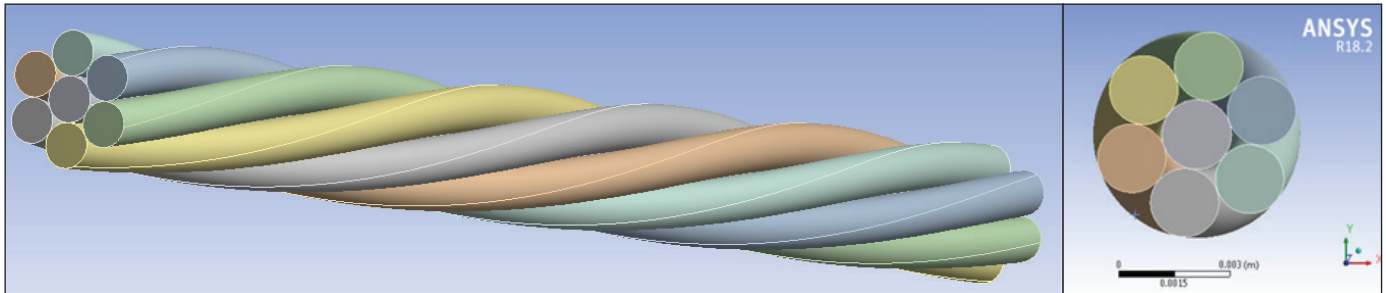
Diameter of prestressing strand	11.11 mm
Radius of core wire	1.875 mm
Radius of outer wires	1.84 mm
Strand pitch	165 mm
Lay angle	81,947976°
Modulus of elasticity	196500 MPa
Strand grade	1860 MPa
Minimum breaking load	138 kN
Number of outer wires	6
Poisson's ratio ( $\nu$ )	0.3

Six outer wires do not come into contact with each other but each one comes in contact with the center wire. A circle representing the center wire is extruded and one circle touching the center wire representing one outer wire at same plane is swept on the helix. Circular pattern is made to form six outer wires. Solid modeling is done at one pitch length by using Solidworks and imported Ansys Workbench. Solid model is shown in Figure 1.

The rope length does not significantly affect the torsional moment which is transmitted by the rope and the axial load to be carried (Ghoreishi 2007). However, in case of using increased number of length the number of finite elements and nodes to be used in the solution domain will increase. Therefore, it is expected that there will be an increase in the solution time of FEA.

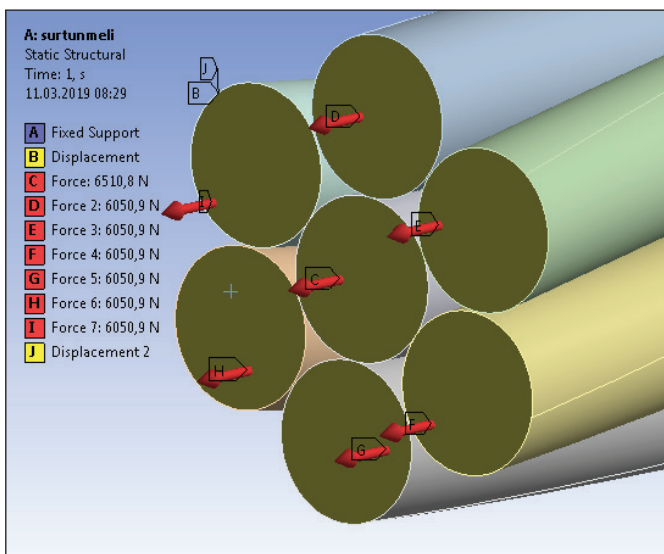
Solid 186 meshing element including intermediate node was used in the mesh structure and a homogeneous mesh distribution was tried to obtain. Meshed geometry has 25463 elements and 126308 nodes.

It is possible to define the contact of the wires each other in different ways during FEA. According to the friction coefficient values in the problem, two different solutions have been made through two different contact definitions: frictional and frictionless contacts. The friction coefficient is taken to be 0.115 when frictional contact condition is considered. Surface to surface contact condition is identified



**Figure 1.** Solid model and cross section of prestressing strand with 11.11 mm diameter.

at each touching neighbor surface of wires. As boundary conditions, one end of the strand is fixed. Displacements on x and y axes and rotations on x, y and z axes are fixed at the other end due to the use of lead alloy casting or connection fixtures to prevent the ropes from rotating while the ropes are being mounted, and only displacement in the pulling direction is allowed. The reason is of ropes other than the rotation resistant ropes are sensitive to untwisting. Tombak (2019) prepared a MSc thesis about modeling and analysis of axially loaded rope strands and tried to compare the solution of Costello's theory with the finite element solution. Author solved wire loads generated separately by using Costello's theory while prestressing strand was strained by value of 0.003. In this study, those wire loads are exerted upon wires of prestressing strand at the free end and finite element analyses are performed under two different contact conditions. Wire load of 6510.847 N is exerted upon center wire and 6050.906 N is exerted upon each outer wire. The applied loads are given in Figure 2.



**Figure 2.** Loads applied to the center and outer wires of prestressing strand.

### 3. Results and Discussion

In this study, a prestressing strand having 11.11 mm diameter has been modeled and finite element analyses have been performed by frictional and frictionless conditions in order to reveal mechanical behavior of investigated prestressing steel strand subjected to axial tension load. Results obtained by ANSYS simulations have been presented and discussed. Twisting moment, wire stress and wire strain at each layer of investigated prestressing strand in accordance with FEA studies have been presented in Table 2.

Strain is determined as 0.00324 when friction is taken into account and strain is determined as 0.00322 in frictionless contact condition if 42816.247 N load is applied to the prestressing strand. The variation of total carried load with axial strain for various helix angles were plotted in (Erdönmez 2010). A strand having 11.40 mm diameter and 80° lay angle were considered. Author found that when strand was strained 0.003, total carried load by investigated strand was 40000 N and author determined that total twisting moment was 20000 Nmm. Xiang et al. (2017) constituted analytical model to determine elastic-plastic response of 1x7 strand with a diameter of 11.4 mm. They presented axial force-strain and axial torque-strain variations graphically. Axial force and axial torque values were determined as approximately 40 kN and 21 kNmm respectively. In this study, axial force and axial torque were 42.816 kN and 18.612 kNmm in accordance with strain value of 0.00324 in frictional state. Parameters and strand configuration considered were little different than this study but the results were observed to be consistent with each other. Tensile stress in the center wire is determined as 661.020 MPa in frictional contact state and 661.46 MPa in frictionless contact state. Tensile stress in the outer wire is determined as 584.48 MPa in frictional contact state and 584.53 MPa in frictionless contact state. Erdönmez's work presented that Von-Mises stress on the center wire was 550 MPa and Von-Mises stress on the outer



**Table 2.** FEA results for investigated prestressing strand

Results	Unit	FEA Results	
		Frictional ( $\mu = 0.115$ )	Frictionless
Strand strain, $\epsilon$	m/m	0.00324	0.00322
Center wire tensile stress, $\sigma_1$	MPa	661.020	661.460
Outer wire tensile stress, $\sigma_2$	MPa	584.480	584.530
Maximum axial load carried by center wire, $F_1$	N	6510.847	6510.847
Maximum total axial load carried by outer wires, $F_2$	N	36305.44	36305.44
Total axial load carried by strand, $F$	N	42816.287	42816.287
Maximum twisting moment on center wire, $M_1$	Nmm	4	18
Maximum total twisting moment on outer wires, $M_2$	Nmm	18608	18631
Maximum total twisting moment on strand, $M$	Nmm	18612	18649

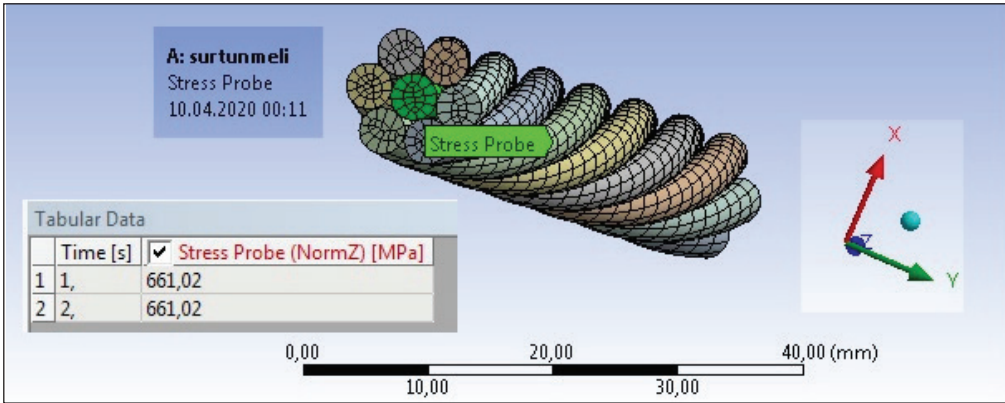
wire was 600 MPa in frictional contact condition. Von-Mises stress covers normal stress and shear stress together. Tensile stresses on center and outer wires presented in this study only consider normal stresses. It was observed that the stress in the center wire was slightly larger than the stress in the outer wire. Ziegler and Wehking (2006) examined the 1x19 spiral rope with a diameter of 11.64 mm. They conducted FEA by applying 50% of the rope breaking load (58.64 kN) as axial tensile load. Maximum axial tensile stress was found as 952.103 MPa. In this study, 31% of the rope breaking load (42.816 kN) was applied as axial tensile load and maximum axial tensile stress was determined as 661.02 MPa in frictional state. When the obtained results were compared, it was observed that when the axial tensile load was increased by 36.96%, the axial tensile stress increased by 44.03% as well. Stanova et al. (2011) performed FEA by means of Abaqus software in order to determine maximum stress values occurred on core wire and outer wire of 1x37 multilayered strand having 7.09 mm diameter. They found that maximum stress on core wire having 1.09 mm diameter was 1050 MPa and outer wire having 1 mm diameter was 950MPa under 30 kN tensile load. In this study stress value occurred on core wire having 3.75 mm diameter was 661.02 MPa and outer wire having 3.68 mm diameter was 584.48 MPa under 42.816 kN. When the results are examined, it was seen that the increase in the wire diameter decreases the stress value. Since the center wire is straight, it does not twist under the influence of load and therefore the torsional moment in the center wire is very close to zero. The total torsional moment in the outer wires was found to be 18612 Nmm in frictional contact state and 18649 Nmm in frictionless contact state.

Stress probe properties are used to extract center wire and outer wire tensile stresses separately at z-direction as shown in Figure 3.

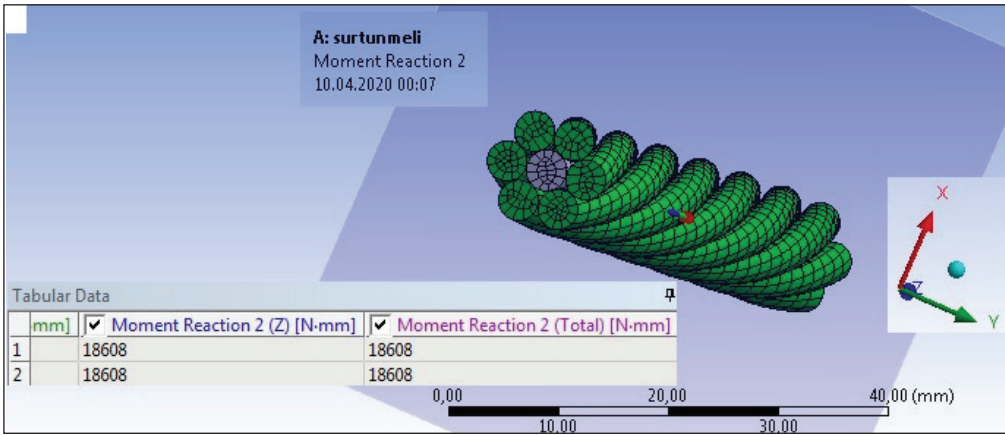
Moment reaction properties are used to extract center wire and outer wire tensile stresses separately at z-direction as shown in Figure 4.

Equivalent Von-Mises stress contours are shown in Figure 5 and Figure 6 considering frictional and frictionless contact conditions by applying the total axial load carried.

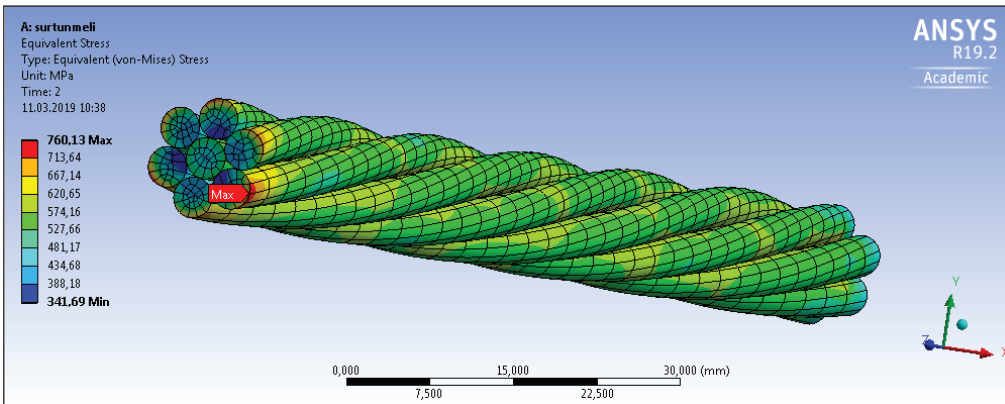
It is seen that maximum Von-Mises stresses occurred on the side of fixed end of the prestressing strand and maximum stress values were almost equal for frictional and frictionless contact conditions. Wokem (2015) performed FEA for same strand to predict its fatigue lifetime. Author presented that maximum Von-Mises stress was 802.8 MPa when 42000 N load was applied to strand in frictional contact condition. In this study, maximum Von-Mises stress has been found as 760.13 MPa under axial load of 42816.247 N. Abdullah et al. (2016) investigated a prestressing strand which has 15.24 mm diameter using an efficient finite element model. They obtained that the center wire initially carries a greater share of axial force as long as the material remains elastic. The center wire was determined to carry 31.3 kN (14.94% of total carried load) and the each outer wire was determined to carry 29.7 kN (14.18% of total carried load). It is determined from this study that center wire carries 15.2% of total load and each outer wire carries 14.13% of total load. Results were found to be harmonic with each other. Chiang (1996) and Raouf and Kraincanic (1994) used analytical methods and finite element method to reveal mechanical



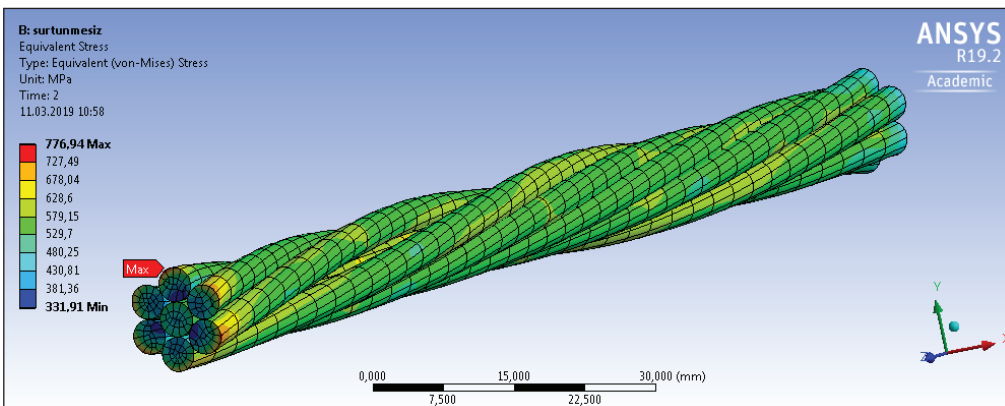
**Figure 3.** Stress probe used for reading center wire tensile stress in frictional contact.



**Figure 4.** Moment reaction used for reading maximum total twisting moment on outer wires in frictional contact.



**Figure 5.** Equivalent Von-Mises stress contour considering frictional contact condition.



**Figure 6.** Equivalent Von-Mises stress contour considering frictionless contact condition.

behavior of helical strand having 11.4 mm diameter. They also presented obtained strain/axial load ratio. Chiang found strain/axial load ratio as 66.2 kN-1.10-6. Raof and Kraincanic stated that strain/axial load ratios were found by different researchers in the range of 67-75.4. In this study, strain/axial load ratio is found as 75.67 in frictional state. The maximum Von-Mises stresses shed light on researchers in finding the safety factor. Safety factor can be found by dividing the strand grade to the Von-Mises stress. Safety factor has been found as 2.44 for frictional contact condition and 2.39 for frictionless contact condition. There is slight difference between safety factors in frictional and frictionless contact conditions. Coefficient of friction is assumed as zero in FEA where frictionless contact condition is considered. It causes the free sliding between adjacent wires. Unlike frictionless contact condition, friction between adjacent wires is regarded in FEA where frictional contact condition is considered. Contacting surfaces do not slip if a certain shear stress is not exceeded in frictional contact condition. The friction between wires creates a resistance in favor of the strand. This keeps the wires together and allows them to move together. It causes reduction in Von-Mises stress in frictional contact condition.

#### 4. References

- Abdullah, ABM., Rice, JA., Hamilton, HR., Consolazio, GR. 2016.** An investigation on stressing and breakage response of a prestressing strand using an efficient finite element model. *Eng. Struct.*, 123: 213-224. Doi: 10.1016/j.engstruct.2016.05.030
- ASTM A416. 2012.** Standard specification for uncoated seven wire steel strand for prestressed concrete. *ASTM Standards*, USA.
- Chiang, YJ. 1996.** Characterizing simple-stranded wire cables under axial loading. *Finite Elem. Anal. Des.*, 24: 49-66. Doi: 10.1016/S0168-874X(97)80001-E
- Cürgül, İ. 1995.** Materials Handling Volume I. Kocaeli University Press, İzmit.
- Demir, C., Ala, E. 2017.** Ön gerilmeli monoton tipi halatın deneysel ve teorik doğal frekans analizi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21: 978-989. Doi: 10.16984/saufenbilder.298755
- Elata, D., Eshkenazy, R. Weiss, MP. 2004.** The mechanical behavior of a wire rope with an independent wire rope core. *Int. J. Solids. Struct.*, 41: 1157-1172. Doi: 10.1016/j.ijsolstr.2003.11.021
- Erdönmez, C. 2010.** Mathematical modeling and stress analysis of wire ropes under certain loading conditions, Ph. D. thesis, Istanbul Technical University, 223 pp.
- Erdönmez, C., İmrak CE. 2011.** A finite element model for independent wire rope core with double helical geometry subjected to axial loads. *Sadhana*, 36: 995-1008. Doi: 10.1007/s12046-011-0053-1
- Ghoreishi, SR., Messenger, T., Cartraud, P., Davies, P. 2007.** Validity and limitations of linear analytical models for steel wire strands under axial loading, using a 3D FE model. *Int. J. Mech. Sci.*, 49: 1251-1261. Doi: 10.1016/j.ijmecsci.2007.03.014
- Jiang, WG., Yao, MS., Walton, JM. 1999.** A concise finite element model for simple straight wire rope strand. *Int. J. Mech. Sci.*, 41: 143-161. Doi: 10.1016/S0020-7403(98)00039-3
- Jiang, WG., Henshall, JL., Walton, JM. 2000.** A concise finite element model for three-layered straight wire rope strand. *Int. J. Mech. Sci.*, 42: 63-86. Doi: 10.1016/S0020-7403(98)00111-8
- Kastratovic, GM. Vidanovic, ND. 2011.** Some aspects of 3d finite element modeling of independent wire rope core. *FME Trans.*, 39: 37-40.
- Onur, YA. 2019.** Theoretical investigation of rope strand subjected to axial tensile load. *Int. Rev. Appl. Sci. Eng.*, 10: 141-145. Doi: 10.1556/1848.2019.0017
- Onur, YA. 2016.** Experimental and theoretical investigation of prestressing steel strand subjected to tensile load. *Int. J. Mech. Sci.*, 118: 91-100. Doi: 10.1016/j.ijmecsci.2016.09.006
- Onur, YA., İmrak, CE., Onur, TÖ. 2017.** Investigation on bending over sheave fatigue life determination of rotation resistant steel wire rope. *Exp. Tech.*, 41: 475-482. Doi: 10.1007/s40799-017-0188-z
- Onur, YA., İmrak, CE. 2017.** Discard fatigue life of stranded steel wire rope subjected to bending over sheave fatigue. *Mech. Ind.*, 18: 223. Doi: 10.1051/meca/2016049
- Onur, YA., İmrak, CE., Onur, TÖ. 2019.** Discarding lifetime investigation of a rotation resistant rope subjected to bending over sheave fatigue. *Measurement*, 142: 463-169. Doi: 10.1016/j.measurement.2019.04.078
- Raof, M., Kraincanic, I. 1994.** Critical examination of various approaches used for analysing helical cables. *J. Strain. Anal. Eng.*, 29: 43-55. Doi: 10.1243/03093247V291043
- Shi, X., Pan, Y., Ma, X. 2017.** Modeling and analysis of the rope-sheave interaction at traction interface. *J. Appl. Mech.*, 84: 031005. Doi: 10.1115/1.4035584
- Stanova, E. 2013.** Geometrical Modeling of Steel Ropes. *J. Civ. Eng.*, 8: 85-92. Doi: 10.2478/sspjce-2013-0021
- Stanova, E., Fedorko, G., Fabian, M., Kmet, S. 2011.** Computer modelling of wire strands and ropes part II: Finite element-based applications, *Adv. Eng. Softw.*, 42: 322-331. Doi: 10.1016/j.advengsoft.2011.02.010

- Tombak, A. 2019.** Modeling and analysis of axially loaded wire rope strands, M. Sc. thesis, Zonguldak Bulent Ecevit University, 95 pp.
- Vukelic, G., Vizentin, G. 2017.** Damage-induced stresses and remaining service life predictions of wire ropes, *Appl. Sci.*, 7: 107. Doi: 10.3390/app7010107
- Wang, XY., Meng, XB., Wang, JX., Sun, YH., Gao, K. 2015.** Mathematical modeling and geometric analysis for wire rope strands. *Appl. Math. Model.*, 39: 1019–1032. Doi: 10.1016/j.apm.2014.07.015
- Wokem, C. 2015.** Fatigue prediction for strands and wire ropes in tension and bent over sheave wheel, Ph. D. thesis, University of Alberta, 289 pp.
- Xiang, L., Wang, HY., Chen, Y., Guan YJ., Dai, LH. 2017.** Elastic-plastic modeling of metallic strands and wire ropes under axial tension and torsion loads. *Int. J. Solids. Struct.*, 129: 103–118. Doi: 10.1016/j.ijsolstr.2017.09.008
- Ziegler, S., Wehking, KH. 2006.** Calculation of rope stresses using finite element method. *OIPEEC Conference*, pp. 121–136, Athens.



# The Theoretical Investigation on Electronic Behavior and Mechanical Properties of Ferromagnet Silver-Based Telluride: $Ag_3FeTe_4$

*Ferromanyetik Gümüş-Tabanlı Tellürün Elektronik Davranışı ve Mekaniksel Özellikleri Üzerine Teorik Araştırma:  $Ag_3FeTe_4$*

Aytac Erkisi<sup>1\*</sup> , Bugra Yıldız<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Pamukkale University, Faculty of Science and Letters, Department of Physics, Denizli, Turkey

<sup>2</sup>Hacettepe University, Faculty of Engineering, Department of Physics Engineering, Ankara, Turkey

## Abstract

The magnetic nature, mechanical properties and electronic behavior of the ternary silver-based telluride system ( $Ag_3FeTe_4$ ) which has sulvanite type simple cubic (SC) crystal structure which has 215 space number and conforms  $P\bar{4}3m$  space group, have been inspected by spin-polarized Generalized Gradient Approach (GGA) under Density Functional Theory (DFT). First of all, to investigate suitable magnetic order for this system, it has been considered various antiferromagnetic phases which are A-type (A-AFM), G-type (G-AFM) and C-type (C-AFM) and ferromagnetic (FM) phase. As a result of calculations, it has been understood that, for  $Ag_3FeTe_4$  compound, the energetically most favored magnetic phase is ferromagnetic. After that, well-optimized structural parameters and atomic positions have been obtained in ferromagnetic phase. The electronic band structure of this ferromagnetic system indicating half-metallic behavior due to the observed a small direct band gap ( $E_g = 0.297$  eV) in spin-down states, has been investigated. Also, this compound has thermodynamic stability and structural synthesizability due to its calculated negative formation enthalpy values for all different types of magnetic phases. Also, the elastic constants provide the Born Huang criteria, the material is mechanically stable.

**Keywords:** Chalcogenide, Density functional theory, Electronic structure of bulk materials, Ferromagnet, Semiconductor

## Öz

Sulvanit tipi basit kübik (BK) kristal yapıya sahip ve 215 boşluk sayısı ile  $P\bar{4}3m$  uzay grubuna uyan üçlü gümüş bazlı tellür ( $Ag_3FeTe_4$ ) sisteminin manyetik doğası, mekanik özellikleri ve elektronik davranışı, Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (YFT) altında spin-polarize Genelleştirilmiş Gradyan Yaklaşımı (GGY) ile araştırılmıştır. İlk olarak, bu sistem için uygun manyetik fazı araştırmak için, A-tipi, G-tipi ve C-tipi antiferromanyetik ve ferromanyetik faz düşünülmüştür. Hesaplamalar sonucunda,  $Ag_3FeTe_4$  bileşiği için, enerjisel olarak en çok tercih edilen manyetik fazın ferromanyetik faz olduğu anlaşılmıştır. Daha sonra, iyi optimize edilmiş yapısal parametreler ve atomik pozisyonlar ferromanyetik faz için elde edilmiştir. Bu ferromanyetik sistemin, elektronik bant yapısında, spin-aşağı durumunda 0.297 eV'lik bir bant boşluğu gözlemlenmesi sebebiyle, yarı metalik bir davranış göstermektedir. Ayrıca, bu bileşik, tüm farklı tip manyetik fazlar için hesaplanan negatif oluşum entalpi değerleri nedeniyle termodinamik kararlılığa ve yapısal sentezlenebilirliğe sahiptir. Ek olarak, elastik sabitler Born Huang kriterlerini sağlaması sebebiyle mekanik olarak da kararlıdır.


**Anahtar Kelimeler:** Kalgojenit, Yoğunluk fonksiyonel teorisi, Yığın malzemelerin elektronik yapısı, Ferromanyetik, Yarı iletken


## 1. Introduction

Recently, transition metal chalcogenides have attracted the attention of many researchers, as their electronic nature is prone to half-metal or semiconductor properties and since they exhibit different magnetic behaviors and also,

are usually very soft and flexible materials (Erkisi et al. 2019, Erkisi 2019, Nakamura, Kato et al. 2007, Nakamura, Akiyama et al. 2007, Nakamura et al. 2008, Zhou et al. 2016, Feng et al. 2013). In this view, the compounds consisting of transition metal group and chalcogenide group elements such as sulphur, selenium or tellurium element, have been used widely in technological fields such as solar cells and thermoelectric materials (Nakanishi et al. 1969, Miles et al. 2007, Skoug et al. 2010, Temple et al. 2012, Katagiri 2005), for a while. Therefore, there are many scientific researches

\*Corresponding author: [aerkisi@pau.edu.tr](mailto:aerkisi@pau.edu.tr)

Aytac Erkisi  [orcid.org/0000-0001-7995-7590](https://orcid.org/0000-0001-7995-7590)

Bugra Yıldız  [orcid.org/0000-0002-0080-7096](https://orcid.org/0000-0002-0080-7096)

about electronic, magnetic or thermal properties of these type of compounds in experimentally and theoretically (Nitsche et al. 1967, Zwick et al. 1999, Shannon et al. 2000, Doublet et al. 2000, Debus et al. 2002, Aiura et al. 2003, Klepp et al. 2000, Kars et al. 2005, Lu et al. 1993, Delgado et al. 2007). In recent years, especially ternary transition metal-based sulvanite type chalcogenide series having simple cubic (SC) crystal structure with 215 space number and conforming  $P\bar{4}3m$  space group, have become the center of attention among material scientists (Pauling et al. 1932, Mujica et al. 1998).

In the early 2000s, using similar experimental methods, it was discovered that, some chalcogen-based compounds (Tate et al. 2008) and copper-based tantalate sulfide ( $\text{Cu}_3\text{TaS}_4$ ) and selenide ( $\text{Cu}_3\text{TaSe}_4$ ) exhibit p-type semiconductor properties by Tate (Newhouse et al. 2009). In some subsequent studies, the electronic and optical behaviors, of copper-based vanadate sulfide ( $\text{Cu}_3\text{VS}_4$ ) investigated in experimentally by Lv et al., and it was discovered that this compound can be used in technology as a light absorbing material due to its suitable band gap (Lv et al. 2012), and after a short time, Ali et al. examined the electronic and optical characters, mechanical and thermal properties of copper-based sulfide series  $\text{Cu}_3\text{TMS}_4$  (TM = V, Nb, and Ta) in computationally and they found that these compounds were found to be semiconductors (Ali et al. 20014). In some recent theoretical studies, by Erkisi et al., the electronic nature and some mechanical properties of some ferromagnetic copper-based (Erkisi, Surucu 2019) and zinc-based chalcogenides (Erkisi, Yildiz et al. 2019) investigated and the mentioned compounds were found to be half-metallic indicating to be able to used for spintronic applications in technology. In these two studies, due to the fact that there is a half-metallic electronic behavior in zinc-based chalcogenides as well as copper-based chalcogenides, in the present study, some silver-based chalcogenide compounds have been considered may exhibit interesting electronic behaviors, and therefore their electronic, magnetic and also some mechanical properties have been investigated.

In the present study, the electronic behavior in suitable magnetic nature and mechanical properties of new ternary silver-based ferrite telluride ( $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$ ) which has simple cubic (SC) crystal structure with 215 space number and conforming to  $P\bar{4}3m$  space group has been examined in detail. Therefore, firstly, four different magnetic orders, ferromagnetic (FM), A-type antiferromagnetic (A-AFM), G-type antiferromagnetic (G-AFM) and C-type

antiferromagnetic (C-AFM), have been considered for this compound. The electronic band structure of this compound has been calculated for the stable magnetic order which is the ferromagnetic phase, by spin-polarizing within GGA. Adding a new material to the ternary chalcogenides family is of great importance, as the mentioned compound has a half-metallic behavior and therefore could be used in spintronic applications. To the best of our knowledge, the electronic behavior and stable magnetic phase of this material have not been examined yet in detail. The obtained results indicate that this telluride in the present study has half-metallic behavior in its stable ferromagnetic phase. In this view, the analysis of the electronic behavior and magnetic nature and also mechanical properties of this telluride system have been carried out from the first principles by using the VASP code. The computational details which are used in this study have been presented in the next section. The well optimized structural parameters, the suitable magnetic order and the calculated electronic band structure with the density of state (DOS) in the most stable magnetic phase, and some mechanical properties of this compound have been given in the third section. Conclusively, in the last section, the observed and obtained results have been concluded.

## 2. Material and Method

The density functional theory (DFT)-based calculations (Kohn et al. 1965; Hohenberg et al. 1964) in the present study, has been carried out by using VASP (Vienna Ab initio Simulation Package) (Kresse et al. 1993, 1996) code in which valence electron densities are expanded in plane-wave basis sets which determine the electronic states with the projector-augmented wave (PAW) method (Blöchl 1994). The exchange-correlation effects have been described by Perdew, Burke and Ernzerhof (PBE) (Perdev et al. 1996) type pseudopotentials implementation of the generalized gradient approximation (GGA). In the mentioned ternary silver-based telluride, the electronic configurations of *Ag*, *Fe*, and *Te* atoms are as follows:  $5s^14d^{10}$ ,  $3d^74s^1$ , and  $4d^{10}5s^25p^4$ .

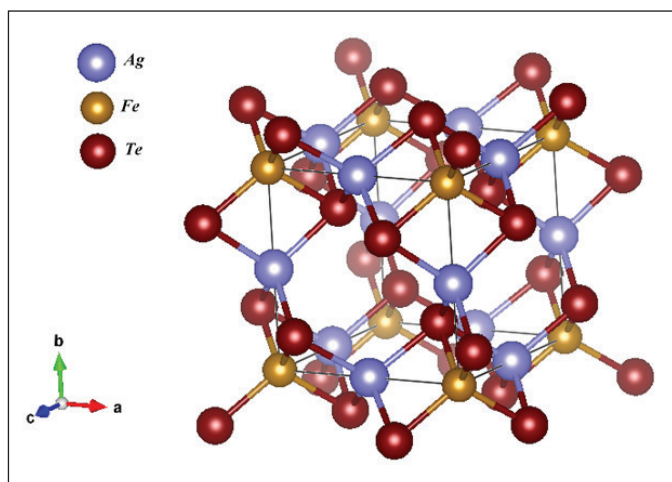
For this composition, the well-optimized some structural parameters have been obtained by using automatically generated  $12 \times 12 \times 12$  Monkhorst-Pack scheme (Monkhorst et al. 1976) to perform the integrations in the irreducible Brillouin zone yielding 56 k-points. During this computational study, the plane-wave cutoff energy has been set to 900 eV. The atoms in primitive cell of this composition have been relaxed by using the quasi-Newton method and also, the convergence criteria for the force and energy have

been taken  $10^{-8}$  eV/Å and  $10^{-9}$  eV, respectively, per unit cell in the iterative solution of the Kohn-Sham equations. For the atoms in the primitive cell of the ternary silver-based telluride ( $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$ ), the well-optimized atomic positions have been obtained by minimizing forces and pressures on this crystal system. After the optimization process of our system, to decide the most stable magnetic phase, a  $2 \times 2 \times 2$  super-cell containing 64 atoms has been produced and calculated energy-volume values for each different type of magnetic order. Then, the electronic behavior and some mechanical properties of this material have been examined in the most stable magnetic phase detected.

### 3. Results

The relaxed atomic positions in primitive cell for our system have been obtained by optimization process and then, the electronic and magnetic character of ternary silver-based telluride ( $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$ ) having simple cubic (SC) sulvanite structure and conforming  $P43m$  space group with 215 space number. The optimized atomic positions in the eight-atom primitive cell and three-dimensional (3D) crystal shape of the mentioned compound have been illustrated in Figure 1.

As seen from Figure 1 that, in the represented primitive cell, three silver atoms and one iron atom are positioned in 3d (0.5, 0, 0) and 1a (0, 0, 0) Wyckoff positions (Wyckoff 1963), respectively, while tellurium atoms are placed on 4e (0.237, 0.237, 0.237) positions. After the optimized structural parameters have been achieved, a  $2 \times 2 \times 2$  super-cell consisting of 64 atoms has been considered to detect the suitable magnetic order for our system. Finally, the electronic nature and mechanical properties of this telluride



**Figure 1:** The 3D (three-dimensional) crystallographic shape of primitive cell with silver, iron and tellurium atoms.

compound have been investigated in its energetically more favorable magnetic phase.

#### 3.1. The energetically Favorable Magnetic Phase and the Obtained Structural Parameters

A solid crystal having any one of three different antiferromagnetic orders, consists of two ferromagnetic subsystems and each of which is mutually aligned and has large magnetization, but antiferromagnet material doesn't yield any magnetic field because its total magnetization is zero. It is well known that antiferromagnetic orders are three different types which are A-type, C-type and G-type. For each of these orders, the directions of the magnetic moments are organized in different types to be zero total magnetization (Han 2013), as shown schematically in Figure 2.

In order to detect the suitable magnetic order for this chalcogenide, the directions of the magnetic moments of the eight iron ions in the generated supercell have been regulated accordingly to the mentioned antiferromagnetic arrangements yielding zero total magnetization. Then, the formation enthalpy value ( $\Delta H_f$ ) which is usually calculated to decide the stability in thermodynamically or the synthesizability in structurally of a crystal, for each of different magnetic phases of this system, have been calculated by using the internal energy changes. It can be said that any solid crystal is structurally synthesizable and thermodynamically stable when the calculated formation enthalpy ( $\Delta H_f$ ) of it, is less than zero. For any solid crystal having its chemical formula  $A_xB_y$ , this energy value can be usually determined from the internal energy changes (Zhao et al. 2008) as given in Equation 1;

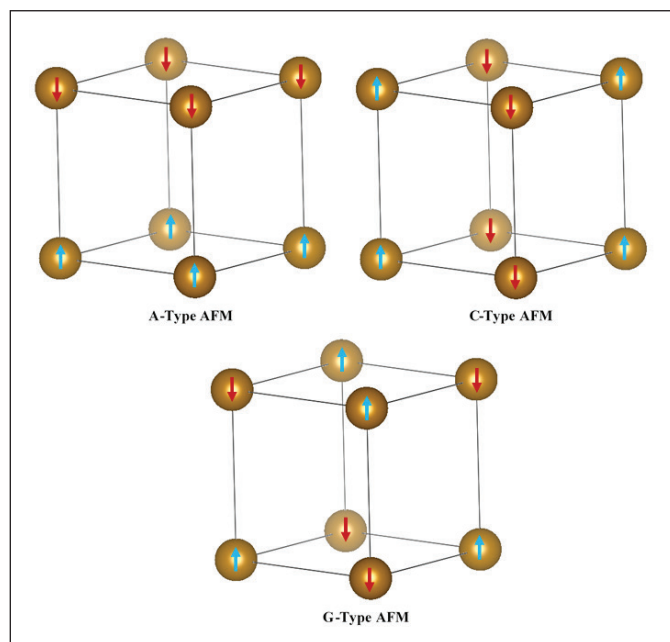
$$\Delta H_f = E_{tot} - (xE_A^{bulk} + yE_B^{bulk}) \quad (1)$$

where,  $E_A^{bulk}$  and  $E_B^{bulk}$  are the ground state energies of A and B atoms and  $E_{tot}$  is the total energy of the unit cell. Formation enthalpy can also be used to decide to be stable in which crystal structure or in which magnetic phase a compound which can be found in different crystal structures or different magnetic phases. In this respect, when the calculated enthalpy value of a solid crystal of its any structural or magnetic phase is less than that of others, it could be said that this magnetic phase or structure is energetically more suitable than others.

For different magnetic orders, as seen in Table 1, the calculated formation enthalpy values of this telluride system indicate that the suitable magnetic phase is ferromagnetic (FM) for this compound and also A-type AFM and

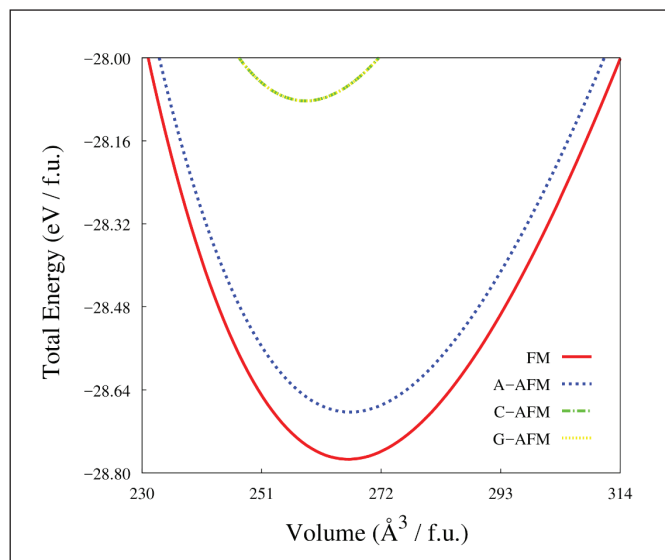
**Table 1:** The well-optimized bond lengths in primitive cell, lattice parameters and the calculated formation enthalpies of ternary silver-based telluride  $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$  (Space group:  $P43m$ , Space No:215) for different magnetic orders.

Compound	a (Å)	$d_{\text{Fe-Te}}$ (Å)	$d_{\text{Ag-Te}}$ (Å)	$\Delta H_f$ (eV/f.u.)
$\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$	6.432 (FM)	2.64249	2.74105	-0.321 (FM)
	6.434 (A-Type AFM)			-0.231 (A-Type AFM)
	6.371 (C-Type AFM)			0.369 (C-Type AFM)
	6.371 (G-Type AFM)			0.369 (G-Type AFM)

**Figure 2.** The schematic representation of different types of A-type, C-type and G-type antiferromagnetic orders for a simple cubic crystal.

ferromagnetic phase have thermodynamic stability and structural synthesizability, which is so important for the future possible technological applications, while C-type AFM and G-type AFM have no stability. Then, a well-optimized ground state energy-volume values of this system for each magnetic phase have been obtained and with the help of these values, it has been plotted as shown in Figure 3 by fitting the Vinet equation of state (Vinet et al. 1969). For this telluride system, a well-converged ground state has been achieved, maximum 1% asymptotic standard errors. For each magnetic phase, the obtained structural parameters have been presented in Table 1.

The graphed energy-volume plots for four different type magnetic orders, show that C-type and G-type antiferromagnetic orders for this compound are not suitable

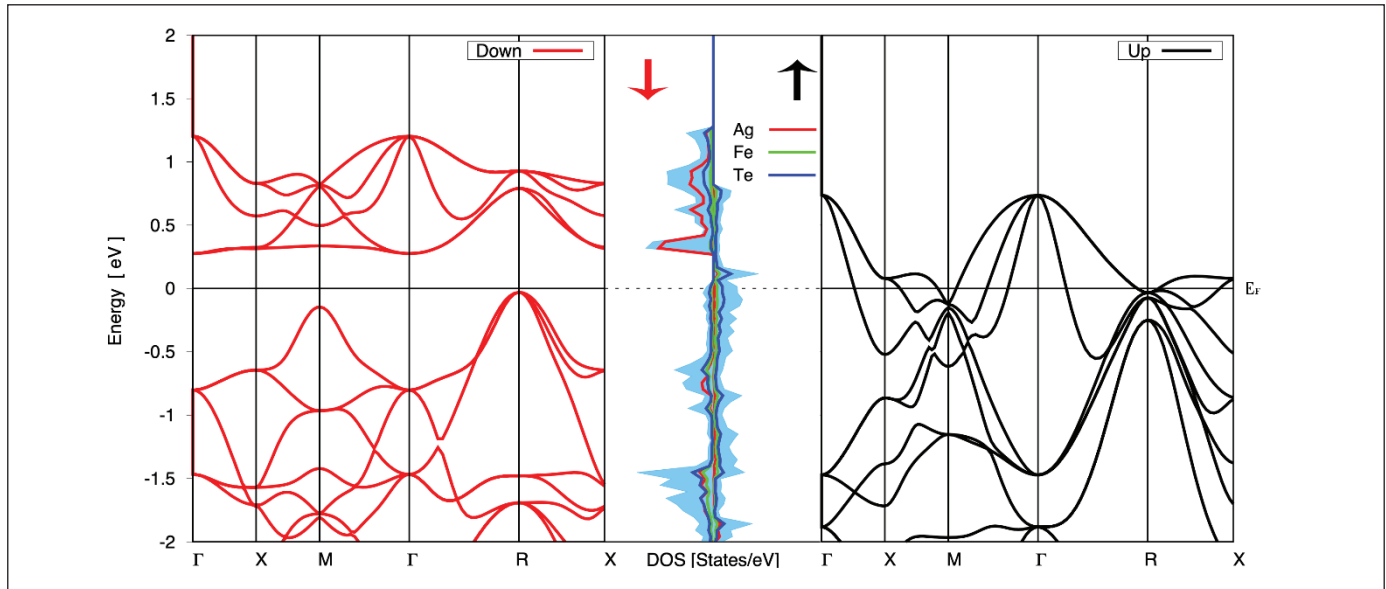
**Figure 3.** The energy-volume graphic of four different types of magnetic phases for ternary silver-based telluride ( $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$ ).

in energetically since our system has much higher ground state energies in these magnetic phases than the others. In the mentioned figure, it can be obviously understood that FM phase is most suitable for this compound due to have somewhat lower energy than A-type AFM phase and this is compatible with the formation enthalpies previously calculated for all magnetic phase types. To the best of our knowledge, to make any comparison, there is not detailed study or any investigation about this chalcogenide in literature yet. Furthermore, it can be said that the bond lengths between silver and tellurium atoms are greater than the bond lengths between iron and tellurium atoms in the primitive cell of ternary silver-based telluride.

### 3.2. The Electronic Nature of $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$ Telluride

The electronic nature of the ternary silver-based telluride has been understood from the electronic band structure and total density of state calculated by spin-polarizing with the GGA approach. The observed electronic band structure of

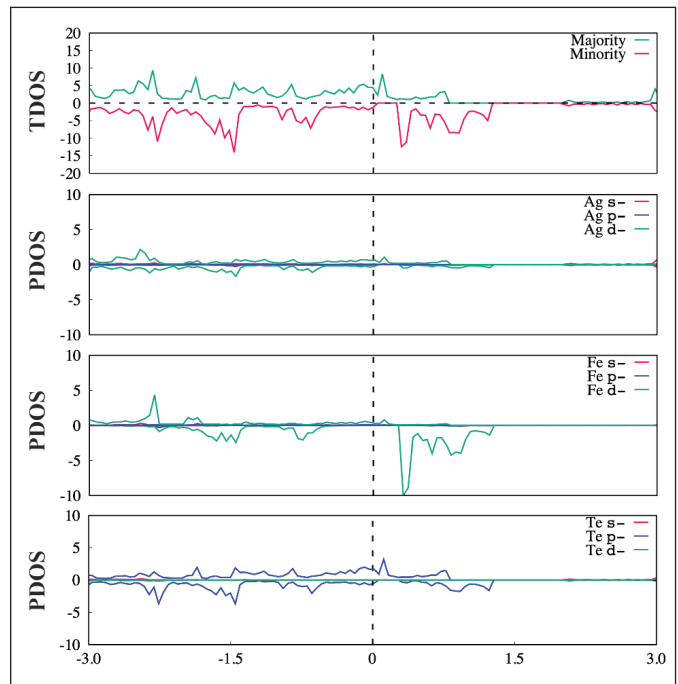




**Figure 4:** Spin-polarized energy band structure with the total density of electronic state (DOS) of ternary silver-based telluride ( $Ag_3FeTe_4$ ) within GGA.

this chalcogenide system has been plotted along the high symmetry directions for both spin states in the Brillouin zone as demonstrated in Figure 4. As apparently shown in this figure, ternary silver-based telluride ( $Ag_3FeTe_4$ ) having ferromagnetic nature, behaves as half-metallic material due to have a small indirect band gap ( $E_g = 0.297$  eV and from R to  $\Gamma$  point) in spin-down state in observed its electronic band structure. In addition, the difference between spin-down and spin-up channels hint that this telluride system is not paramagnetic with regards to magnetic properties.

In order to see the orbital effects in the electronic band structure more clearly, the total and orbital projected partial density of electronic states for ternary silver-based telluride system ( $Ag_3FeTe_4$ ) have been plotted as given in Figure 5. For this system, it can be obviously seen the dominance of unfilled  $p$ -orbitals of tellurium ( $Te$ ) namely chalcogen atoms for the valence band below Fermi level, while unfilled  $3d$  states of iron ( $Fe$ ) atoms are dominant for the conduction band above Fermi level. In the region below Fermi level, approximately between  $-3$  eV and  $0$  eV, it has been observed hybridizations in telluride system, between  $d$ -states of iron ( $Fe$ ) and silver ( $Ag$ ) atoms and  $p$ -orbitals of tellurium ( $Te$ ) atoms. Furthermore, above the Fermi level almost between  $0$  eV and  $1.5$  eV, there is hybridizing between  $p$ -orbitals of tellurium ( $Te$ ) atoms and  $d$ -orbitals of iron ( $Fe$ ). In the same band, it is seen that the fully-filled  $4d$ -states of silver ( $Ag$ ) atoms are not effective on the electronic structure. Moreover, it can be understood from Figure 5 that,  $5s$ -



**Figure 5:** The observed orbital projected partial and total density of electronic states of atoms in  $Ag_3FeTe_4$  compound.

and  $4d$ - states, which have very low density of states, of tellurium ( $Te$ ) atoms in this compound haven't remarkable effect on chemical bonding features of ternary silver-based ferrite telluride system. Similarly, as seen from the related figure that,  $s$ - and  $p$ - orbitals of iron ( $Fe$ ) and silver ( $Ag$ ) atoms in this composition, as plotted with red and blue lines

respectively, haven't an important role in chemical bonding and the formation of related compound structure. On this subject, the electronic behavior of this telluride system could be determined by especially *d*-orbitals of iron (*Fe*) atoms which is a transition metal atom, and *p*-orbitals of tellurium (*Te*) atoms and hybridizations between them.

The total magnetic moments of ferromagnetic semi-metallic materials are expected to be close to the integer value, as a typical feature. The calculated total magnetic moment of this telluride compound is much close to the integer value in accordance with the mentioned feature of half-metallic materials ( $\mu_{\text{Ag}_3\text{FeTe}_4} = 2.908 \mu_B$ ). Moreover, the data obtained from the self-consistent calculations show that, the partial magnetic moments of the iron atoms (*Fe*) play an effective role on the total magnetic moment of this composition, as presented in Table 2. In this regard, it can be said that the iron atom (*Fe*) has responsibility for the ferromagnetic nature of this telluride system.

**Table 2.** The determined total magnetic moment ( $\mu_B$ ) of the silver-based  $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$  telluride in ferromagnetic order and total magnetic moments of silver (*Ag*), iron (*Fe*) and tellurium (*Te*) atoms in this composition.

Material	$\mu_{\text{tot}} (\mu_B)$	$\mu_{\text{atom}} (\mu_B)$
$\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$	2.908	$\mu_{\text{Ag}} = -0.010$
		$\mu_{\text{Fe}} = 2.954$
		$\mu_{\text{Te}} = -0.035$

### 3.3. The Predicted Mechanical Properties of $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$ Telluride

The stress-strain approach (Page et al. 2001) has been used under the *ab initio* method to calculate the elastic constants that can be used to study the mechanical stability of this telluride system and to determine some of its mechanical properties.  $C_{11}$ ,  $C_{12}$  and  $C_{44}$  are three independent elastic constants (Mouhat et al. 2014), for a solid crystal having cubic symmetry. The second order elastic constants for ternary silver-based telluride ( $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$ ) calculated under this approximation within the first principles methods have been presented in Table 3.

**Table 3.** The determined Cauchy pressure ( $C_p$ ) and second order elastic constants of ternary silver-based telluride ( $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$ ) under GGA approximation.

Compound	$C_{11} (\text{GPa})$	$C_{12} (\text{GPa})$	$C_{44} (\text{GPa})$	$C_p (\text{GPa}) = C_{12} - C_{44}$
$\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$	19.356	13.019	3.833	9.186

A solid crystal is expected to have mechanical stability, which is a desirable feature in industry and technology, and to resist external stresses. To be mechanically stable, the calculated elastic constants, have to satisfy Born-Huang criteria to understand the mechanical stability of a material (Mouhat et al. 2014). These conditions for any solid crystal having cubic symmetry are given in Eq. 2.

$$C_{11} - C_{12} > 0; \quad C_{11} + 2C_{12} > 0; \quad C_{11} > 0 \text{ and } C_{44} > 0 \quad (2)$$

The determined second order elastic constants of this compound by using "stress-strain" method, of this compound show its mechanical stability due to satisfy the above-mentioned criteria.

The calculated  $C_{44}$  constant for a cubic crystal, gives information about resistance to shear deformation across the (100) plane in the [110] direction while the information about the resistance to shear deformation on the (110) plane in the  $[\bar{1}\bar{1}0]$  direction can be taken from the calculated  $(C_{11} - C_{12})/2$  value (Knowles et al. 2015, Arıkan et al. 2014, Zener et al. 1948). It is clearly seen from the calculated constants as seen in Table 3 that, for silver-based  $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$  telluride, resistance to shear deformation across the (100) plane in the [110] direction is higher than the resistance to shear deformation on the (110) plane in the  $[\bar{1}\bar{1}0]$  direction.

The idea of about a material's ductility can be obtained by using Cauchy pressure ( $C_p = C_{12} - C_{44}$ ), which can be calculated with the help of elastic constants (Pettifor 1992). In this regard, if a crystalline Cauchy pressure is calculated as a positive value, the crystal can be considered as a ductile material, on the contrary, if this pressure value is negative, it can be considered as a fragile. In this computational study, the ternary silver-based telluride compound is ductile material since its calculated Cauchy pressure value is positive. It is an industrial desirable feature that a material is ductile. Because a fragile material does not have the ability to absorb energy and doesn't deform plastically, so that it tends easily under stress and strain (Mercier 2002).

#### 3.3.1. Some Predicted Elastic Features by Using Elastic Constants

In this section of this research, technologically vital elastic

properties such as bulk moduli ( $B$ ) and shear moduli ( $G$ ), Young's modulus ( $E$ ), Poisson's ratio ( $\sigma$ ) and Pugh's ratio ( $B/G$ ) have been predicted for our material ternary silver-based ferrite  $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$  telluride, by employing formerly determined elastic constants in Section 3.3. The upper limit of bulk and shear moduli ( $B_V, G_V$ ) have been estimated from Voigt (Voigt 1928) approximation, the lower limit of bulk and shear moduli ( $B_R, G_R$ ) have been estimated from Reuss (Reuss 1929) approximation and finally average values of bulk and shear moduli ( $B_H, G_H$ ) have been estimated from Hill (Hill 1952) approximation by using Eqs.3-6. Since, any solid crystal in cubic structure, lower and upper limit of bulk moduli is equal to each other as seen from the Eq. 3., only the average value of bulk moduli ( $B$ ) has been added to Table 4.

$$B_V = B_R = B_H = B = (C_{11} + 2C_{12})/3 \quad (3)$$

$$G_V = (C_{11} - C_{12} + 3C_{44})/5 \quad (4)$$

$$G_R = 5(C_{11} - C_{12})C_{44}/(4C_{44} + 3C_{11} - 3C_{12}) \quad (5)$$

$$B_H = (1/2)(B_V + B_R) \text{ and } G_H = (1/2)(G_V + G_R) \quad (6)$$

It is seen in Eq. 7 and Eq. 8, Young's modulus ( $E$ ) and Poisson's ratio ( $\sigma$ ), which could provide us vital information about the compressibility of a material, could be predicted as a function of formerly deduced bulk ( $B$ ) and shear moduli ( $G$ ) (Wu et al. 2014).

$$E = (9BG)/(3B + G) \quad (7)$$

$$\sigma = (3B - 2G)/[2(3B + G)] \quad (8)$$

The estimated Young's moduli ( $E$ ), which has been tabulated in Table 4, of ternary silver-based ferrite  $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$  telluride demonstrate that the material could be treated as soft material. In addition to that, bulk ( $B$ ) moduli, upper lower and average value of shear moduli ( $G_V, G_R$  and  $G_H$ ), Poisson's ratios ( $\sigma$ ) and Pugh's ratio ( $B/G$ ) have been shown in Table 4, too.

If  $B/G$  ratio, of any solid crystal is higher than the critical value 1.75, material counted as ductile otherwise brittle (Pugh 1954). One could deduce from Table 4, in our case material is soft and ductile. In addition, this result is

compatible with our expectation from Section 3.3 Cauchy pressure ( $C_p$ ) predictions. Also, to visualize the mechanical properties better, two and three-dimensional (3D) predicted elastic properties of  $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$  compound Young's moduli, linear, shear moduli and, Poisson's ratio have been drawn in Figure 6.

The estimated Poisson's ratio ( $\sigma$ ), could be used for determining the compressibility or incompressibility of the material. If Poisson ratio value is around 0.5 material could be considered nearly incompressible, otherwise if the value is around 0.3 it can be considered nearly compressible (Gupta et al. 2017). As one can see from the Table 4, our value is around 0.4. Therefore, this indicates that our material cannot be considered as compressible or incompressible. Also, for any solid crystal, if Poisson's ratio is around 0.1 the bond is ionic, if around 0.25 is the bond is covalent, if it is higher than 0.25 the bond is metallic (Bannikov et al. 2007). Therefore, it is metallic bond for our case.

Another important mechanical parameter is shear anisotropy factor of the crystal. It presents vital knowledge about anisotropy. Shear anisotropy factor of a cubic crystal, for the {100}, {010} and {001} planes are, is shown in Eq. 9 and for the {110} planes are, is shown in Eq. 10 as a function of elastic constants (Lau 1998).

$$A = 2C_{44}/(C_{11} - C_{12}) \quad (9)$$

$$A_L = C_{44}(C_L + 2C_{12} + C_{11})/(C_L C_{11} - C_{12}^2) \quad (10)$$

$$C_L = C_{44} + (C_{11} + C_{12})/2$$

Both shear anisotropy factor of ternary silver-based ferrite  $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$  telluride have been presented in Table 5. If  $2C_{44} = C_{11} - C_{12}$  the value of  $A$  goes to 1 and the material has isotropic nature. In our case, for both directions, the value is around 1 and it could be said that the material is isotropic. Also, this result is compatible with Figure 6, in which elastic modules symmetric for all axis.

### 3.3.2. The Predicted Some Thermal Properties

In this part of this study, some thermal features such as wave velocities ( $v_m, v_t$  and  $v_l$ ), of ternary silver-based ferrite  $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$  telluride, melting temperature ( $T_{Mel}$ ) and

**Table 4.** The predicted bulk ( $B$ ), shear ( $E$ ) and Young's moduli ( $E$ ), Poisson's ( $\sigma$ ) and Pugh's ratios ( $B/G$ ) of ternary silver-based ferrite  $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$  telluride.

Compound	$B$ (GPa)	$G_V$ (GPa)	$G_R$ (GPa)	$G_H$ (GPa)	$E$ (GPa)	$B/G$	$\sigma$
$\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$	15.13	3.57	3.54	5.55	9.88	4.314	0.391

finally Debye temperature ( $\theta_D$ ) have been presented. The transverse and longitudinal sound wave velocities  $v_t$  and  $v_l$  of the material are predicted as a function of formerly determined shear ( $G$ ) and bulk ( $B$ ) moduli in Eq. 11 and 12 by using Navier's equation (Schreiber et al. 1973).

$$v_t = [G / \rho]^{1/2} \tag{11}$$

$$v_l = [(B + (4G/3)) / \rho]^{1/2} \tag{12}$$

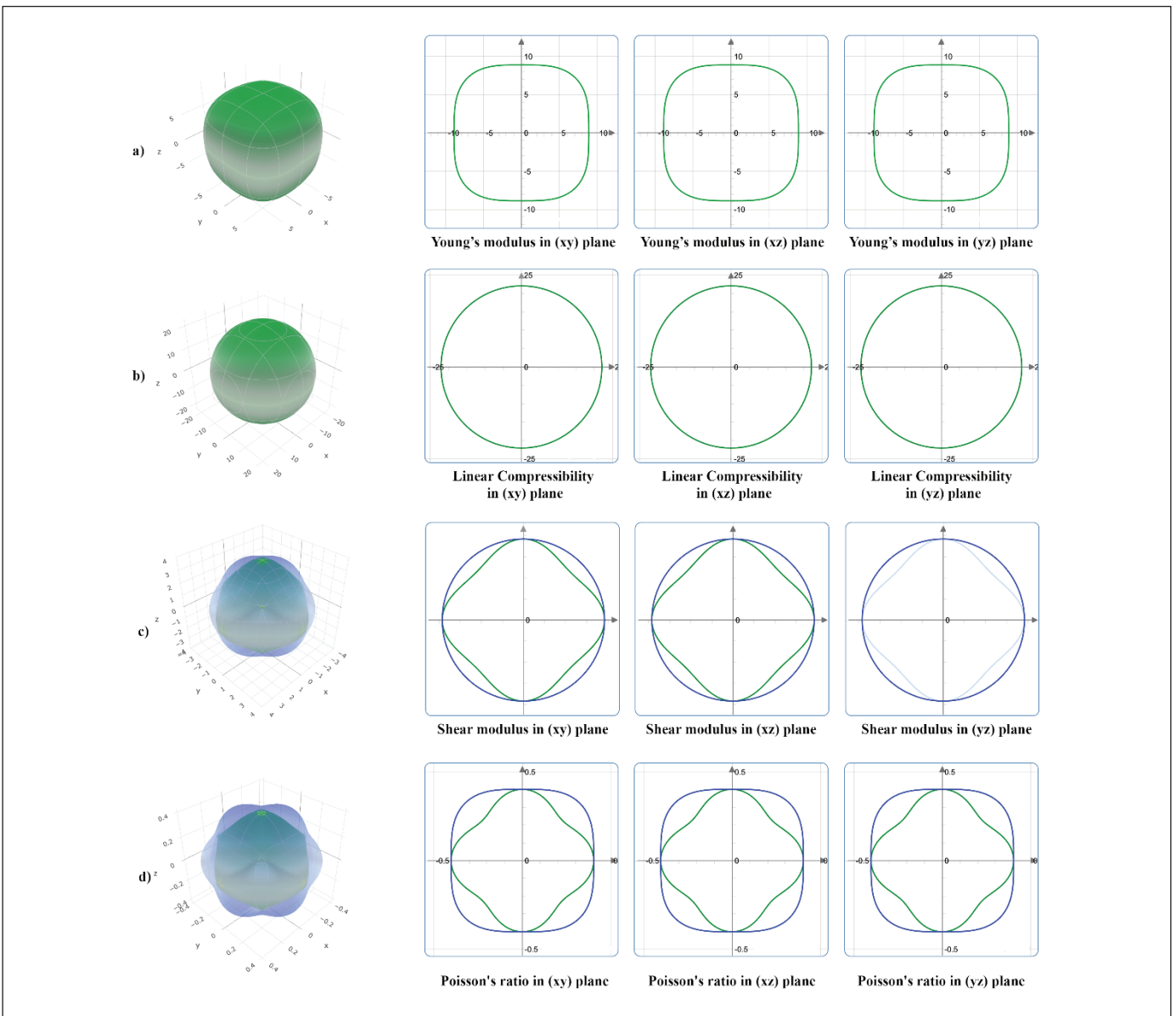
Then,  $v_t$  and  $v_l$  values are used to calculate the average sound wave velocity ( $v_m$ ) in Eq. 13 (Anderson 1963):

$$v_m = \{ (1/3)[2/(v_t^3) + (1/(v_l^3))] \}^{-1/3} \tag{13}$$

**Table 5.** The determined  $A$  and (anisotropy shear factors) of ternary silver-based ferrite  $Ag_3FeTe_4$  telluride

Compound	A for the {100} planes	A_ for the {110} planes
$Ag_3FeTe_4$	1.188	1.135

All the estimated values of ternary silver-based ferrite  $Ag_3FeTe_4$  telluride have been tabulated in Table 6. Other important the thermal feature of a material is the Debye



**Figure 6.** Two and three-dimensional (3D) predicted elastic properties of  $Ag_3FeTe_4$  compound a) Young's moduli b) Linear Compressibility c) Shear moduli and d) Poisson's ratio (ELATE 2016).

**Table 6.** The determined transverse ( $v_t$ ), longitudinal ( $v_l$ ), and average ( $v_m$ ) wave velocities and also Debye ( $\theta_D$ ) and melting temperatures ( $T_{Melt}$ ) of ternary silver-based ferrite  $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$  telluride.

Compound	$v_t$ (m/s)	$v_l$ (m/s)	$v_m$ (m/s)	$\theta_D$ (K)	$T_{Melt}$ (K)
$\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$	1576	3251	1771	163.9	668 ± 300

temperature ( $\theta_D$ ). High Debye temperature could mean high melting temperature and high thermal conductivity. For this material, Debye temperature has been estimated by using Eq. 14 (Anderson 1963):

$$\theta_D = (b/k)[3n/4\pi](N_A/M)^{1/3}v_m \quad (14)$$

where  $k$  the Boltzmann's constant,  $N_A$  is the Avogadro's number,  $n$  is the number of atoms in the molecule,  $b$  is the Planck's constant,  $M$  is the molecular weight,  $\rho$  is the density of the material and finally  $v_m$  is the average sound wave velocity. The estimated Debye temperatures ( $\theta_D$ ) for ternary silver-based ferrite  $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$  telluride has been presented in Table 6.

Lastly, the melting temperature has been roughly predicted for the crystal in this study by adopting the formerly calculated  $C_{11}$  elastic constant value in Table 3 (Fine et al. 1984).

$$T_{Melt} = \left[ 553 K + \left( \frac{5.91 K}{GPa} \right) C_{11} \right] \pm 300 K \quad (15)$$

One could see from the Table 6, the approximately estimated melting temperatures for this telluride is consistent with the determined Debye temperatures.

#### 4. Conclusion and Comment

In this research, for the most suitable magnetic order, mechanical properties and electronic features of new ternary silver-based ferrite  $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$  telluride, which has 215 space number and conforms P43m space group, has been inspected in detail. The graphed volume-energy plot and determined negative formation enthalpy of this ternary silver-based ferrite telluride demonstrate that the crystal is ferromagnetic and synthesizable. With the half-metallic nature with small indirect band gap ( $E_g = 0.297$  eV) in spin-down state of silver-based ferrite  $\text{Ag}_3\text{FeTe}_4$  telluride, is a promising material for technological applications such as spintronic devices. Since the elastic constants provide the Born Huang criteria, the material is mechanically stable. Also, with the positive Cauchy pressures and high Pugh's ratio, the crystal is soft and has high ductility. In addition to that, the mentioned material is isotropic due to the value of shear anisotropy factor for all directions are around 1.

#### 5. Acknowledgment

This research was supported by the Pamukkale University Research Project Unit [project number 2019BSP013].

#### 6. References

- Aiura, Y., Bando, H., Kitagawa, R., Maruyama, S., Nishihara, Y., Horiba, Oshima, M., Shiino, O., Nakatake, M. 2003.** Electronic structure of layered 1T – TaSe<sub>2</sub> in commensurate charge-density-wave phase studied by angle-resolved photoemission spectroscopy. *Phys. Rev. B*, 68, 073408.
- Ali, MA., Jahan, N., Islam, AKMA. 2014.** Sulvanite Compounds Cu<sub>3</sub>TMS<sub>4</sub> (TM= V, Nb and Ta): Elastic, Electronic, Optical and Thermal Properties using First-principles Method. *J. Sci. Res.*, 6, 407-419.
- Anderson, OL. 1963.** A simplified method for calculating the debye temperature from elastic constants, *J. Phys. Chem. Solids* 24, pp. 909-917.
- Arıkan, N., İyigör, A., Candan, A., Özduran, M., Karakoç, A., Uğur, Ş., Uğur, G., Bouhemadou, A., Bin-Omran, S., Guechi, N. 2014.** Ab-initio Study of the Structural, Electronic, Elastic and Vibrational Properties of the Intermetallic Pd<sub>3</sub>V and Pt<sub>3</sub>V Alloys in the L1<sub>2</sub> Phase. *Met. Mater. Int.*, 20, 765-773.
- Bannikov, VV., Shein IR., Ivanovskii, AL. 2007.** Electronic structure, chemical bonding and elastic properties of the first thorium-containing nitride perovskite TaThN3, *Phys. Stat. Sol. (RRL)* 1, pp. 89-91.
- Blöchl, PE. 1994.** Projector augmented-wave method. *Phys. Rev. B*, 50, 17953-17979.
- Debus, S., Harbrecht, B. 2002.** Nb<sub>x</sub>Ta<sub>7-x</sub>S<sub>2</sub> (x = 2.73), a structurally distinct (Nb,Ta)-rich sulfide obtaining its stability from the dissimilar cohesive energy of the two metals. *J. Alloys Compd.*, 338, 253-260.
- Delgado, GE., Mora, AJ., Durán, S., Munoz, M., Grima-Gallardo, P. 2007.** Structural characterization of the ternary compound Cu<sub>3</sub>TaSe<sub>4</sub>. *J. Alloys Compd.*, 439, 346-349.
- Doublet, ML., Remy, S., Lemoigno, F. 2000.** Density functional theory analysis of the local chemical bonds in the periodic tantalum dichalcogenides TaX<sub>2</sub> (X = S, Se, Te). *J. Chem. Phys.*, 113, 5879-5890.
- ELATE: 2016.** Elastic tensor analysis, *J. Phys. Condens. Matter*, 28, 275201.

- Erkisi, A. 2019.** Magnetic orders and electronic behaviors of new chalcogenides  $\text{Cu}_3\text{MnCh}_4$  (Ch = S, Se and Te): An ab initio study. *Philos. Mag.*, 99, 1941-1955.
- Erkisi, A., Surucu, G. 2019.** The electronic and elasticity properties of new half-metallic chalcogenides  $\text{Cu}_3\text{TMCh}_4$  (TM = Cr, Fe and Ch = S, Se, Te): an ab initio study. *Philos. Mag.*, 99, 513-529.
- Erkisi, A., Yildiz, B., Demir, K., Surucu, G. 2019.** First principles study on new half-metallic ferromagnetic ternary zincbased sulfide and telluride ( $\text{Zn}_3\text{VS}_4$  and  $\text{Zn}_3\text{VTe}_4$ ). *Mater. Res. Express*, 6, 076107.
- Feng, K., Wang, W., He, R., Kang, L., Yin, W., Lin, Z., Yao, J., Shi, Y., Wu, Y. 2013.**  $\text{K}_2\text{FeGe}_3\text{Se}_8$ : A New Antiferromagnetic Iron Selenide. *Inorg. Chem.*, 52, 2022-2028.
- Fine, ME., Brown, LD., Marcus, HL. 1984.** Elastic constants versus melting temperature in metals, *Scr. Metall.* 18, pp. 951-956.
- Gupta, DC., Ghosh, S. 2017.** First-principal study of full Heusler alloys  $\text{Co}_2\text{VZ}$  (Z = As, In), *J. Magn. Magn. Mater.* 435 pp. 107-116.
- Han, F. 2013.** *A Modern Course in the Quantum Theory of Solids.* World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Hill, R. 1952.** *The Elastic Behaviour of a Crystalline Aggregate*, Proc. Phys. Soc. A 65, pp. 349-354.
- Hohenberg P., Kohn, W. 1964.** Inhomogeneous Electron Gas. *Phys. Rev.*, 136, B864-B871.
- Kars, M., Rebbah, A., Rebbah, H. 2005.**  $\text{Cu}_3\text{NbS}_4$ , *Acta Cryst.*, E61, i180-i181.
- Katagiri, H. 2005.**  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  thin film solar cells. *Thin Solid Films*, 480-481, 426-432.
- Klepp, KO., Gurtner, D. 2000.** Crystal structure of tricopper tetraselenidovanadate (V),  $\text{Cu}_3\text{VSe}_4$ . *Z. Kristallogr. NCS*, 215, 4.
- Knowles KM., Howie, PR. 2015.** The Directional Dependence of Elastic Stiffness and Compliance Shear Coefficients and Shear Moduli in Cubic Materials. *J. Elast.*, 120, 87-108.
- Kohn W., Sham, LJ. 1965.** Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects. *Phys. Rev. A*, 140, A1133-A1138.
- Kresse G., Hafner, J. 1993.** Ab initio molecular dynamics for liquid metals. *Phys. Rev. B*, 47, 558-561.
- Kresse G., Furthmuller, J. 1996.** Efficiency of ab initio total energy calculations for metals and semiconductors using a plane-wave basis set. *Comput. Mater. Sci.*, 6, 15-50.
- Lau, K., McCurdy, AK. 1998.** Elastic anisotropy factors for orthorhombic, tetragonal, and hexagonal crystals, *Phys. Rev. B* 58, pp. 8980-8984.
- Lu, YJ, Ibers, JA. 1993.** Synthesis and Characterization of  $\text{Cu}_3\text{NbSe}_4$  and  $\text{KCu}_2\text{TaSe}_4$ . *J. Solid State Chem.*, 107, 58-62.
- Lv, XS., Deng, ZH., Miao, FX., Gu, GX., Sun, YL., Zhang, QL., Wan, SM. 2012.** Fundamental optical and electrical properties of nano-  $\text{Cu}_3\text{VS}_4$  thin film. *Optical Materials*, 34, 1451-1454.
- Mercier, JP., Zambelli, G., Kurz, W. 2002.** *Introduction to Materials Science.* Éditions scientifiques et medicales Elsevier SAS.
- Miles, RW., Zoppi, G., Forbes, I. 2007.** Inorganic photovoltaic cells. *Mater. Today*, 10, 20-27.
- Monkhorst, HJ., Pack, JD. 1976.** Special points for Brillouin-zone integrations. *Phys. Rev.B*, 13, 5188-5192.
- Mouhat F., Coudert, FX. 2014.** Necessary and sufficient elastic stability conditions in various crystal systems. *Phys. Rev. B*, 90, 224104.
- Mujica, C., Carvajal, G., Llanos, J., Wittke, O. 1998.** Redetermination of the crystal structure of copper(I) tetrathiovanadate (sulvanite),  $\text{Cu}_3\text{VS}_4$ . *Z. Kristallogr. NCS*, 213, 12.
- Nakamura, K., Kato, Y., Akiyama, T., Ito, T., Freeman, AJ. 2006.** Half-Metallic Exchange Bias Ferromagnetic/Antiferromagnetic Interfaces in Transition-Metal Chalcogenides, *Phys. Rev. Lett.*, 96, 047206.
- Nakamura, K., Akiyama, T., Ito, T., Freeman, AJ. 2007.** Magnetic structures and half-metallicity at zincblende ferromagnetic/antiferromagnetic interfaces: Role of tetragonal distortions. *J. Magn. Magn. Mater.*, 310, 2186-2188.
- Nakamura, K., Akiyama, T., Ito, T., Freeman, AJ. 2008.** Half-metallicity at ferromagnetic/antiferromagnetic interfaces in zincblende transition-metal chalcogenides: A full-potential linearized augmented plane-wave study within LDA+U. *J. Appl. Phys.*, 103, 07C901.
- Nakanishi, H., Endo, S., Taizo, I. 1969.** On the Electrical and Thermal Properties of the Ternary Chalcogenides  $\text{A}_2\text{B}^{\text{IV}}\text{X}_3$ ,  $\text{A}^{\text{I}}\text{B}^{\text{V}}\text{X}_2$  and  $\text{A}_3\text{B}^{\text{V}}\text{X}_4$  ( $\text{A}^{\text{I}}=\text{Cu}$ ;  $\text{B}^{\text{IV}}=\text{Ge, Sn}$ ;  $\text{B}^{\text{V}}=\text{Sb}$ ;  $\text{X}=\text{S, Se, Te}$ ) II. Electrical and Thermal Properties of  $\text{Cu}_3\text{SbSe}_4$ . *Jpn. J. Appl. Phys.*, 8, 443-449.
- Newhouse, PF., Hersh, PA., Zakutayev, A., Richard, A., Platt, HAS., Keszler, DA., Tate, J. 2009.** Thin film preparation and characterization of wide band gap  $\text{Cu}_3\text{TaQ}_4$  ( $\text{Q}=\text{S or Se}$ ) *p*-type semiconductors. *Thin Solid Films*, 517, 2473-2476.
- Nitsche, R., Wild, P. 1967.** Crystal Growth and Electro-optic Effect of Copper-Tantalum-Selenide,  $\text{Cu}_3\text{TaSe}_4$ . *J. Appl. Phys.*, 38, 5413-5414.
- Page, YL., Saxe, P. 2001.** Symmetry-general least-squares extraction of elastic coefficients from ab initio total energy calculations. *Phys. Rev. B*, 63, 174103.

- Pauling, L., Hultgren, R. 1932.** The Crystal Structure of Sulvanite,  $\text{Cu}_3\text{VS}_4$ . *Z. Kristallogr.*, 84, 204-212.
- Perdew, JP., Burke, K., Ernzerhof, M. 1996.** Generalized Gradient Approximation Made Simple. *Phys. Rev. Lett.* 77, 3865-3868.
- Pettifor, DG. 1992.** Theoretical predictions of structure and related properties of intermetallics. *Mater. Sci. Technol.*, 8, 345-349.
- Pugh, SF. 1954.** XCII. Relations between the elastic moduli and the plastic properties of polycrystalline pure metals, Lond. Edinb. Dubl. Phil. Mag. 45, pp. 823-843.
- Reuss, A. 1929.** Berechnung der Fließgrenze von Mischkristallen auf Grund der Plastizitätsbedingung für Einkristalle [Calculation of the liquid limit of mixed crystals on the basis of the plasticity condition for single crystals], *J. Appl. Math. Mech.* 9 pp. 49-58.
- Schreiber, E., Anderson, OL., Soga, N. 1973.** Elastic Constants and their Measurements, McGraw-Hill, New York.
- Shannon, N., Joynt, R. 2000.** The spectral, structural and transport properties of the pseudogap system  $(\text{TaSe}_4)_2\text{I}$ . *Solid State Commun.*, 115, 411-415.
- Skoug, EJ., Cain, JD., Morelli, DT. 2010.** Structural effects on the lattice thermal conductivity of ternary antimony- and bismuth-containing chalcogenide semiconductors. *Appl. Phys. Lett.*, 96, 181905.
- Tate, J., Newhouse, PF., Kykyneshi, R., Hersh, A., Kinney, J., McIntyre, DH., Keszler, DA. 2008.** Chalcogen-based transparent conductors. *Thin Solid Films*, 516, 5795-5799.
- Temple, DJ., Kehoe, AB., Allen, JP., Watson, GW., Scanlon, DO. 2012.** Electronic Structure, and Bonding in  $\text{CuMCh}_2$  ( $\text{M} = \text{Sb, Bi; Ch} = \text{S, Se}$ ): Alternative Solar Cell Absorber Materials. *J. Phys. Chem. C*, 116, 7334-7340.
- Vinet, P., Rose, JH., Ferrante, J., Smith, JR. 1969.** "Universal Features of the Equation of State of Solids. *J. Phys.: Condens. Matter*, 1, 1941.
- Voigt, W. 1928.** Lehrbuch der Kristallphysik [The textbook of crystal physics], B.G. Teubner, Leipzig und Berlin.
- Wu, DH., Wang, HC., Wei, LT., Pan, RK., Tang, BY. 2014.** First-principles study of structural stability and elastic properties of  $\text{MgPd}_3$  and its hydride, *J. Magnes. Alloy.* 2 pp. 165-174.
- Wyckoff, RWG. 1963.** *Crystal Structures Vol. 1.* John Wiley & Sons Ltd.
- Zener, C. 1948.** *Elasticity and Anelasticity of Metals.* University of Chicago Press, Chicago.
- Zwick, F., Berger, H., Grioni, M., Margaritondo, G., Forro, L., La Veigne, J., Tanner, DB., Onellion, M. 1999.** Coexisting one-dimensional and three-dimensional spectral signatures in  $\text{TaTe}_4$ . *Phys. Rev. B*, 59, 7762-7766.
- Zhou, M., Yin, W., Liang, F., Mar, A., Lin, Z., Yao, J., Wu, Y. 2016.**  $\text{Na}_2\text{MnGe}_2\text{Se}_6$ : a new Mn-based antiferromagnetic chalcogenide with large Mn...Mn separation. *J. Mater. Chem. C*, 4, 10812.
- Zhao, E., Wu, Z. 2008.** Electronic and mechanical properties of 5d transition metal mononitrides via first principles. *J. Solid State Chem.*, 181, 2814-2827.

**Makalenin Adı:**

**Yazarların adı (makaledeki sırayla):**

Biz aşağıda imzaları bulunan yazarlar, sunduğumuz makalenin orijinal olduğunu; başka bir dergiye yayınlanmak üzere verilmediğini, daha önce yayınlanmadığını, eğer, tümüyle ya da bir bölümü yayınlandı ise yukarıda adı geçen dergide yayınlanabilmesi için gerekli her türlü iznin alındığını ve orijinal telif hakkı devri formu ile birlikte *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi Editörlüğü*'ne gönderildiğini garanti ederiz.

Makalenin telif hakkından feragat etmeyi kabul ederek sorumluluğu üstlenir ve imza ederiz.

Bu vesileyle makalenin telif hakkı Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'ne devredilmiştir.

*Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi Editörlüğü* makalenin yayınlanabilmesi konusunda yetkili kılınmıştır. Bununla birlikte yazarların aşağıdaki hakları saklıdır:

1. Telif Hakkı dışında kalan patent vb. bütün tescil edilmiş haklar.
2. Yazarın gelecekteki kitaplar ve dersler gibi çalışmalarında; makalenin tümü ya da bir bölümünü ücret ödemeksizin kullanma hakkı.
3. Makaleyi satmamak koşulu ile kendi amaçları için çoğaltma hakkı.

Bütün yazarlar tarafından imzalanmak üzere:

Yazar Adı : <b>(Yazarlar sırayla yazılacaktır)</b>	Tarih : .../.../.....	İmza :
Yazar Adı :	Tarih : .../.../.....	İmza:
Yazar Adı :	Tarih : .../.../.....	İmza:
Yazar Adı :	Tarih : .../.../.....	İmza:
Yazar Adı :	Tarih : .../.../.....	İmza:
Yazar Adı :	Tarih : .../.../.....	İmza:

Makaleyi gönderen sorumlu yazarın;

Adı-Soyadı:

Yazışma Adresi : **(Sorumlu yazara ait posta gönderim adresi)**

Telefonu : **(Sorumlu yazara ulaşılabilecek telefon numarası)**

Belge Geçer : **(Sorumlu yazara ulaşılabilecek faks numarası)**

E-posta : **(Sorumlu yazarın e-mail adresi)**



**Manuscript Title:****Full names of all authors (in order to appear on manuscript)**

The undersigned authors, we guarantee that our submitted manuscript is original work; it has not been published and is not being submitted or considered for publication elsewhere, if, in whole or part of the publication of the magazine was published for the above-mentioned receipt of all necessary permits and was sent to *Editorial Office of Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* with copyright transfer form.

We agree to waive the right to assume the responsibility of the copyright of the article and thank signature.

This article is hereby transferred to the copyright of Zonguldak Bülent Ecevit University.  
*Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* Editor of the publication of the article is authorized.  
However, the authors reserve the following rights:

1. All proprietary rights Copyright outside, such as patent.
2. to use, free of charge, all parts of this article for the author's future works in books, lectures.
3. the right to reproduce the article for their own purposes provided the copies are not offered for sale.

To be signed by all authors:

Author Name : <b>(The authors will be written in the order)</b>	Date : .../.../.....	Signature :
Author Name :	Date : .../.../.....	Signature :
Author Name :	Date : .../.../.....	Signature :
Author Name :	Date : .../.../.....	Signature :
Author Name :	Date : .../.../.....	Signature :
Author Name :	Date : .../.../.....	Signature :

Corresponding author's

Name-Surname:

Address : **(Corresponding author's mail address)**

Phone : **(Corresponding author's contact phone number)**

Fax : **(Corresponding author's contact fax number)**

E-mail : **(Corresponding author's e-mail address)**