

- Kabak Çekirdeği Yağının Kompleks Koaservasyon Yöntemi ile Mikroenkapsülasyonu
- Nafyon-Grafenle Modifiye Edilmiş Camısı Karbon Elektrot ile Pendimethalinin Voltametrik Tayini
- Tüketici Elektronikleri Bileşenleri Kullanılarak Alternatif Bir Raspberry Pi Tabanlı X Işını Görüntüleme Paneli Tasarımı
- 38 Atomlu Ni-Pt-Cu Üçlü Nanoalaşımının Yapısal ve Dinamik Özellikleri
- Akpınar (Kırşehir) Bölgesi Nefelinli Siyenitinin Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması
- Yapay Besin Ortamında Yetiştirilen Model Böcek *Galleria mellonella*'nın Farklı Yaşam Evrelerindeki Mikrobiyal Floranın Belirlenmesi
- *Chelon auratus* (Risso, 1810)'un Karaciğerinden Glukoz-6-Fosfat Dehidrojenaz'ın Safılaştırılması ve Kinetik Karakterizasyonu
- Kare Silindirik Etrafında Akış ve Tümlüşük Taşınım ile Isı Geçiş
- Deprem Yükleri Etkisindeki Çelik Yapı Elemanların Birleşim ve Ekleri İçin Türkiye'deki Mevcut Yönetmeliklerde Tanımlanan Öncekmeli Yüksek Dayanımlı Yapısal Bulon Koşulların Değerlendirilmesi ve Deprem Tasarım İlkelerine Yönelik Öneriler
- Manyetik Kalkan Alaşımları,  $Ni_{80}Fe_{15}Mo_5$  ve  $Ni_{77}Fe_{14}Cu_8Mo_4$ 'ün 15keV-100GeV Enerji Aralığında Foton Zayıflatma Parametrelerini Belirleyerek Radyasyon Zırhlama Özellikleri Üzerine Teorik Bir Çalışma



## 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*

<b>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Adına Sahibi</b> <i>Owner on behalf of Zonguldak Bülent Ecevit University</i>	Mustafa ÇUFALI Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Rektörü
<b>Editör/Editor</b>	Kemal BÜYÜKGÜZEL Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Rektör Yardımcısı
<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/</b> <i>Redaction and Technical Support</i>	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>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 Memduh KARALAR Hakan KAYA Tolga ACUN Salih ERDEM Melih GENİŞ Seda TIĞLI AYDIN Soner ÇAKAR Gökhan BAYAR Okan ERKAYMAZ Ümran ALAN Nazım KUNDURACI Rukiye UZUN Hüseyin TOPAN Nizamettin ÖZDOĞAN	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 Martin BOHNER Şahnaz BOLKENT Kemal BÜYÜKGÜZEL Suna CEBESOY Neil CUMBERLIDGE Enver DURMUŞOĞLU Ten FEIZI Melih GENİŞ Nursel GÜL Haluk GÜVEN Baki HAZER Akira HIRAO Remzi KARAGÜZEL Mehmet KARATAŞ Figen KAYA Türkan KOPAÇ Per Nicolai MARTENS Boris NATALIN Ahmet ÖZASLAN Mahmut ÖZER İsmail Hakkı ÖZÖLÇER Münevver PINAR Rafat SIDDIQUE Mustafa SÖZEN David W. STANLEY Umut TOPRAK Claude TOUZET Mehmet YAMAN Yılmaz YILDIRIM İskender YILGÖR	Western Kentucky University, United States Missouri University of Science and Technology, United States İstanbul University, İstanbul, Turkey Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Ankara University, Ankara, Turkey Northern Michigan University, Michigan, United States Ege University, İzmir, Turkey Imperial College London, United Kingdom Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Ankara University, Ankara, Turkey Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Kapadokya University, Nevşehir, 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 Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 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 Ankara University, Ankara, Turkey University of Provence, Marseille Cedex, France Bolu İzzet Baysal University, Bolu, Turkey 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 Makaleleri", (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 kapsmalıdır 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.

### DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Dergi yönergelerine uymayan yazılar, bilimsel değerlendirme yapılmadan yazarlara iade edilecektir. Dergi yönergelerine uygun olarak gönderilen makaleler, onları hakemlere atayacak olan Baş Editör veya Yardımcı Editör tarafından incelenir. İnceleme süreci tek kördür. Hakem önerileri, alan editörlerinin görüşleri ve yayının literatüre katkısı doğrultusunda Editör karar mektubunu yazar. İncelenmemiş tüm yazılar 10 gün içinde geri gönderilir ve yazıların karar mektupları 3-6 ay içinde gönderilir.

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**

## 1. Türkçe makalelerde

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

## 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 de 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, K.H. 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 kadastronun sayısallaştırılması 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 belirtilmiştir.

#### 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, çizelgelerinki 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 ± 1.36) şeklinde, istatistiksel analiz yapılmışsa (731.2ab) şeklinde, bunların başlık olarak yazılış şekilleri de (ort ± SE; ort ± 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.

**Eklr:** Tüm eklr 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>2</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 virgülle 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/mathscinet/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 İçin 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 ekleme-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](https://www.ease.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/doi.10.20316.ESE_2018.44.e1.tr_.pdf)

### Editörler İçin Etik Kurallar

Editörler:

- Okuyucular, araştırmayı veya diğer bilimsel çalışmaları 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, eleştirilenlerin 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 inceleneyecektir. 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 yayıncısını 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.

### THE REFEREE PROCESS

Manuscripts that do not comply with the journal's guidelines will be returned to the authors without scientific evaluation. Articles submitted in accordance with the journal's guidelines are reviewed by the Editor-in-Chief or Assistant Editor, who will appoint them to referees. The review process is one-blind. The Editor writes the decision letter in line with the recommendations of the referees, the opinions of the field editors and the contribution of the publication

to the literature. All unexamined manuscripts are returned within 10 days, and the decision letters of the manuscripts are sent within 3-6 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
  - b) English Title
  - c) Author's names in Turkish
  - d) Orcid id
  - e) Addresses in Turkish
  - f) Abstract
  - g) Keywords in Turkish
  - h) English Abstract (suitable with Turkish Abstract)
  - i) English Keywords



## 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 secta*. *Insect 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 ± 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 ± SD, or means ± 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:

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

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 marigin
- 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;

- a. Final approval of the version to be published;
  - b. 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

- Kabak Çekirdeği Yağının Kompleks Koaservasyon Yöntemi ile Mikroenkapsülasyonu** ..... 91  
Emel Moral, Okan Bayram, Elif Köksal, Fatma Danaş, Fethiye Göde
- Nafyon-Grafenle Modifiye Edilmiş Camsı Karbon Elektrot ile Pendimethalinin Voltametrik Tayini** ..... 98  
Berna Koçak, Hüseyin Çelikkan
- Tüketici Elektronik Bileşenleri Kullanılarak Alternatif Bir Raspberry Pi Tabanlı X Işını Görüntüleme Paneli Tasarımı** .. 108  
Yalçın İşler, Alpman Manalp , Saadet Sena Egeli
- 38 Atomlu Ni-Pt-Cu Üçlü Nanoalaşımının Yapısal ve Dinamik Özellikleri**..... 114  
Hüseyin Yıldırım, Haydar Arslan
- Akpınar (Kırşehir) Bölgesi Nefelinli Siyenitinin Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması** ..... 123  
Serhan Haner
- Yapay Besin Ortamında Yetiştirilen Model Böcek *Galleria mellonella*'nın Farklı Yaşam Evrelerindeki Mikrobiyal** ..... 132  
**Floranın Belirlenmesi**  
Serkan Sugeçti
- Chelon auratus* (Risso, 1810)'un Karaciğerinden Glukoz-6-Fosfat Dehidrojenaz'ın Saflaştırılması ve** ..... 138  
**Kinetik Karakterizasyonu**  
Salih Görgün, Emre Koç
- Kare Silindir Etrafında Akış ve Tümlüşik Taşınım ile Isı Geçişi**..... 145  
Zerrin Sert
- Deprem Yükleri Etkisindeki Çelik Yapı Elemanların Birleşim ve Ekleri İçin Türkiye'deki Mevcut Yönetmeliklerde** ..... 154  
**Tanımlanan Öncekmeli Yüksek Dayanımlı Yapısal Bulon Koşulların Değerlendirilmesi ve Deprem Tasarım İlkelerine Yönelik Öneriler**  
Ahmet Muhtar Çıtıptıoğlu
- Manyetik Kalkan Alaşımaları  $Ni_{80}Fe_{15}Mo_5$  ve  $Ni_{77}Fe_{14}Cu_5Mo_4$ 'ün 15keV-100GeV Enerji Aralığında Foton Zayıflatma**..... 165  
**Parametrelerini Belirleyerek Radyasyon Zırhlama Özellikleri Üzerine Teorik Bir Çalışma**  
Zeynep Aygun, Murat Aygün



## CONTENTS

### Research Articles

- Microencapsulation of Pumpkin Seed Oil with Complex Coacervation Method..... 91**  
Emel Moral, Okan Bayram, Elif Köksal, Fatma Danaş, Fethiye Göde
- Voltammetric Determination of Pendimethalin with Nafion-Graphene Modified Glassy Carbon Electrode..... 98**  
Berna Koçak, Hüseyin Çelikkan
- An Alternative Design of X-Ray Imaging Panel based on Raspberry Pi with Consumer Electronic Components..... 108**  
Yalçın İşler, Alpman Manalp , Saadet Sena Egeli
- Structural and Dynamic Properties of 38-atom Ni-Pt-Cu Ternary Nanoalloys..... 114**  
Hüseyin Yıldırım, Haydar Arslan
- The Research about the Technological Properties of Nepheline Syenite in Akpınar (Kırşehir) Region ..... 123**  
Serhan Haner
- Determination of Microbial Flora of Model Insect *Galleria mellonella* in Different Life Forms Reared on ..... 132**  
**Artificial Diet**  
Serkan Sugeçti
- Purification and Characterization of Glucose-6-Phosphate Dehydrogenase from the Liver of..... 138**  
***Chelon Auratus* (Risso, 1810)**  
Salih Görgün, Emre Koç
- Flow and Mixed Convection with Heat Transfer Around a Square Cylinder..... 145**  
Zerrin Sert
- Review and Recommendations for Preloaded High Strength Structural Bolts Used for Steel Element Connections and.... 154**  
**Joints Under Seismic Loads Per Turkish Seismic Code Requirements and Design Principals**  
Ahmet Muhtar Çitipıtıoğlu
- A Theoretical Study on Radiation Shielding Characteristics of Magnetic Shielding Alloys,  $Ni_{80}Fe_{15}Mo_5$  and..... 165**  
 **$Ni_{77}Fe_{14}Cu_5Mo_4$ , by Determining the Photon Attenuation Parameters in the Energy Range of 15keV-100GeV**  
Zeynep Aygun, Murat Aygün



# Kabak Çekirdeği Yağının Kompleks Koaservasyon Yöntemi ile Mikroenkapsülasyonu

## *Microencapsulation of Pumpkin Seed Oil with Complex Coacervation Method*

Emel Moral<sup>1\*</sup>, Okan Bayram<sup>1</sup>, Elif Köksal<sup>1</sup>, Fatma Danaş<sup>1</sup>, Fethiye Göde<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Isparta, Türkiye

### Öz

Cucurbitaceae familyasının alt türleri arasında yer alan kabak bitkisi, farklı türleri olan ve tohumları da tüketilen tarımsal bir üründür. Zengin bir yağ asidi kaynağı olması nedeniyle kabak çekirdeği yağı sadece gıda endüstrisinde değil, ilaç ve kozmetik endüstrisi içinde önem taşımaktadır. Bu çalışmamızda kabak çekirdeği yağı yanıt yüzey metodolojisi (YYM) ile oluşturulan bir deney setinde kompleks koaservasyon yöntemi ile enkapsülasyonlanmıştır. YYM'de bağımsız değişkenler olarak sıcaklık (50,00 °C - 60,00 °C) ve pH (3,80 - 4,20), bağımlı değişken olarak ise deneysel olarak hesaplanan enkapsülasyon verimi (%EV) kullanılmıştır. Deney setindeki en yüksek %EV = %79,63 olarak bulunmuş ve 55,00 °C ve 4,00 pH değerinde ulaşılmıştır. YYM için hesaplanan ANOVA sonuçlarında;  $R^2 = %99,44$ , uyum eksikliğinin p değeri = 0,11 bulunmuştur. Uyum eksikliğinin p değerinin ( $p > 0,05$ ) olması model ile verinin uyumunu göstermektedir. Her deney seti için enkapsüle edilen numuneler optik mikroskop ile karakterize edilmiştir. Çalışmamızın sonucunda girdi değişkenleri ile cevap yanıtı arasındaki ilişki literatür yardımıyla değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aljinat, Enkapsülasyon, Jelatin, Kabak çekirdeği yağı, Mikro teknoloji, Mikroenkapsülasyon

### Abstract

Pumpkin plant, which is among the subspecies of Cucurbitaceae family, is an agricultural product with different types and seeds are consumed. Since it is a rich source of fatty acids, pumpkin seed oil is important not only in the food industry, but also in the pharmaceutical and cosmetics industry. In this study, pumpkin seed oil was encapsulated with complex coacervation method in an experiment set created with response surface methodology (RSM). Temperature (50.00 °C – 60.00 °C) and pH (3.80 – 4.20) were used as independent variables in RSM, and experimentally calculated encapsulation efficiency (%EV) was used as dependent variable. The highest EV% in the experimental set 79.63% and 55.00 °C and 4.00 pH values were reached. In ANOVA results calculated for RSM;  $R^2 = 99.44\%$ , lack of fit p value = 0.11. The lack of fit p value ( $p > 0.05$ ) indicates that the model matches the data. The samples encapsulated for each set of experiments were characterized by an optical microscope. As a result of our study, the relationship between input variables and response was evaluated with the help of the literature.

**Keywords:** Alginate, Gelatin, Encapsulation, Pumpkin seed oil, Micro technology, Microencapsulation

### 1. Giriş

Kabak, *Cucurbitaceae* familyasında yer alan bir sebze türü olarak bilinmektedir (Evranoz ve Arduzlar-Kağan 2015). Magnezyum, kalsiyum, sodyum potasyum, fosfor, demir gibi elementler içermektedir. Kabağın, balkabağı (*Cucurbita moschata*), helvacı kabağı (*Cucurbita maxima*) ve sakız kabağı

(*Cucurbita pepo*) gibi türleri mevcuttur (Nederal vd. 2014). Bu türlerden elde edilen tohumlar Akdeniz ve Ortadoğu ülkelerinde kuruyemiş olarak yaygın biçimde tüketilmektedir. Kabak çekirdeği protein, mineraller, aminoasitler ve yağlar yönünden oldukça zengindir. Zengin içeriği sebebiyle kabak çekirdeğinden elde edilen yağ, sadece gıda endüstrisinde değil, ilaç ve kozmetik endüstrisinde de kullanılmaktadır (Yanmaz ve Düzeltir 2003). Kabak çekirdeği yağı yaklaşık olarak %98 yağ asidi içerir. İçeriğindeki başlıca yağ asitleri linoleik (%35,60–%60,80), oleik (%21,00–%46,90), stearik (%3,10–%7,40) ve palmitik (%9,50–%14,50) asittir (Murkovic ve Pfannhauser 2000). Linoleik asit miktarının oldukça yüksek olması, zengin bir esansiyel yağ asidi kay-

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: emel\_chemist32@hotmail.com

Emel Moral [orcid.org/0000-0002-8158-5797](https://orcid.org/0000-0002-8158-5797)

Okan Bayram [orcid.org/0000-0002-1748-9354](https://orcid.org/0000-0002-1748-9354)

Elif Köksal [orcid.org/0000-0001-5131-3531](https://orcid.org/0000-0001-5131-3531)

Fatma Danaş [orcid.org/0000-0002-2233-5018](https://orcid.org/0000-0002-2233-5018)

Fethiye Göde [orcid.org/0000-0002-3008-1353](https://orcid.org/0000-0002-3008-1353)

nağı olarak kullanılabilceğini göstermektedir (Stevenson vd. 2007). Kabak çekirdeğinin sağlık üzerine olan olumlu etkilerinin, lipit kısmında bulunan doymamış yağ asitleri, hidrokarbonlar, fitosteroller, karotenoidler, tokoferoller, bazı mineraller ve fenolik bileşiklerden ileri geldiği düşünülmektedir (Gohari vd. 2011, Veronezi ve Jorge 2012). Bu değerli bileşenler sayesinde kabak çekirdeği yağının; antidiyabetik, kan basıncını düşürücü, parazit enfeksiyonlarını önleyici, kandaki kolesterol düzeyini azaltıcı, antikanserijen, antibakteriyel ve antioksidan etkilere sahip olduğu bildirilmiştir (Caili vd. 2006; Yadav vd. 2006).

Enkapsülasyon; ilaç, protein gibi çeşitli maddelerin katı, sıvı veya gaz halde uygun bir kabuk ile kaplanması prosesidir (Rajam ve Anandharamakrishnan 2015). Kapsüllenen maddeye çekirdek, kaplama maddesine de çeper, kabuk veya duvar materyali denilmektedir (Nesterenko vd. 2014). Enkapsülasyonun amacı çekirdek malzemenin oksijen, ışık, ısı gibi çevresel faktörlere karşı korunması, kullanım ve depolama özelliklerinin iyileştirilmesi, salınım özelliklerinin kontrol edilebilmesidir. Enkapsülasyon prosesi ayrıca kötü koku ve tadı maskeleyerek içinde kullanılabilir (Jyothi vd. 2010, Zuidam ve Shimoni 2010, Kwak 2014). Bu çalışmada enkapsülasyon yöntemlerinden biri olan kompleks koaservasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde kapsül oluşumu pH, sıcaklık, polimer oranı gibi faktörlere bağlıdır (Timilsena vd. 2019). Yanıt yüzey metodolojisi (YYM), girdi verileri ve yanıt verileri ile süreçlerin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve optimize edilmesi için kullanılan istatistiksel ve matematiksel yöntemler bütünüdür (Myers vd. 2009).

Kabak çekirdeği yağı, doymuş ve doymamış yağ asitleri içermektedir. Linoleik asit doymamış yağ asididir, yapısında çoklu bağ içermektedir ve Omega-6 grubu içindedir, insan vücudunda sentezlenemez, kabak çekirdeği yağında bol miktarda bulunmaktadır. Yağlarda meydana gelen bozulmaların en önemli nedeni çoklu bağlara oksijenin etki etmesi ve acı tat oluşmasıdır. Yüksek sıcaklık, ışık gibi etkenler yağlarda oksidasyonu tetiklemektedir (Aksoylu, 2018).

Bu çalışmada kabak çekirdeği yağının YYM kullanılarak sıcaklık ve pH değeri girdi değişkenleri ile oluşturulan deney setinde kompleks koaservasyon yöntemiyle enkapsülasyonlanmıştır. Üretilen numunelerin %EV değeri hesaplanarak cevap yanıtı olarak girilmiştir. Giriş değişkenlerinin ve cevap yanıtının arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışma ile birlikte mikroenkapsülasyon işlemiyle kabak çekirdeği yağının oksidasyonu yavaşlatılarak yağın raf ömrünü uzatmak ve biyolojik aktivitesini arttırarak ticari uygulamalarını genişletmek amaçlanmıştır.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Deneysel Tasarım

Kabak çekirdeği yağının enkapsülasyonu için uygulanacak deneysel tasarım iki bağımsız değişken ve bir cevap yanıtı ile Minitab 16 (Geçerlilik Tarihi: Süresiz) programında oluşturulmuştur. Kullanılan dizayn merkezi kompozit tasarım (CCD)'dir. Bu değişkenler sıcaklık (50,00°C – 60,00°C) ve pH (3,80 – 4,20) değerleridir.

### 2.2. Kabak Çekirdeği Yağının GC Analizi

Ticari olarak satılan ve piyasadan temin edilen kabak çekirdeği yağına GC analizi yapılmıştır. GC analizi için kullanılan cihaz Shimadzu GC-2010 Plus ve kullanılan dedektör Shimadzu GCMS-QP2010 SE'dür.

### 2.3. Deneyin Yapılışı

Kabak çekirdeği enkapsülasyonunda kompleks koaservasyon yöntemi kullanılmıştır. Çekirdek maddesi olarak kullanılan yağ her deney setinde 4,00 g kullanılmıştır. Karıştırma hızı tüm deneylerde ilk aşamada 1200,00 rpm, ikinci aşamada 400,00 rpm'dir. Sıcaklık (50,00°C – 60,00°C) deney setine göre ısıtıcı manyetik karıştırıcıda (Weightlab WN-H550) her bir deney için ayarlanmıştır. Duvar materyali olarak Arap zıncı (%12,50 a/h) ve jelatin (%12,50 a/h) 1:1 oranında kullanılmıştır. İlk aşamada deney setinden oluşturulan sıcaklığa (50,00°C – 60,00°C) getirilen deney ortamında kabak çekirdeği yağı hazırlanan jelatin çözeltisi ile 20,00 dakika süreyle karıştırılmıştır. Karışıma surfaktan madde olarak (%0,50 a/h) olarak hazırlanan sodyum dodesil sülfat (SDS) eklenerek 20,00 dakika daha karıştırılmıştır. Arap zıncı (%12,50 a/h) eklenerek karıştırılmaya 20,00 dakika daha devam edilmiştir. Daha sonra (%20,00 h/h) asetik asit çözeltisiyle karışımın pH değeri deney setinden elde edilen değere (pH 3,80-4,20) ayarlanmıştır ve 90,00 dakika daha 400,00 rpm'de karıştırılmıştır. Sürenin sonunda ısıtıcı kapatılarak 300,00 mL soğuk deiyonize su ve (%10,00 h/h) 3,00 mL glutaraldehit karışıma eklenmiştir. Aynı zamanda behere dışarıdan buz takviyesi yapılmıştır. Isıtıcının kapatılması, soğuk deiyonize su eklenmesi ve buz takviyesinin amacı çözelti sıcaklığının ani olarak düşürülmek istenmesidir. Sıcaklık düşmesi dijital termometre ve ısıtıcının probu ile kontrol edilmiştir. Bu aşamada 400,00 rpm'de karıştırılmaya devam edilmiştir. Toplam karışım süresi 4,50 saate tamamlanarak, (%10,00 a/h) sodyum hidroksit çözeltisiyle karışımın pH değeri 9,00'a ayarlanmıştır. Daha sonra elde edilen karışım bir gün bekletilerek yıkama, süzme, kurutma işlemleri yapılmıştır (Köksal 2016).

## 2.4. Enkapsülasyon Ürünlerinin Karakterizasyonu

YYM yardımıyla oluşturulan deney setinde enkapsüle edilen kabak çekirdeği yağı içeren mikrokapsüller optik mikroskop (Boeco BM-2000) cihazı ile karakterize edilmişlerdir. Cihaz altında gerçekleştirilen bu işlem deneysel aşamada üretilen kapsüllerin büyüklüğü ve şekli hakkında bilgiler vermiştir.

## 2.5. Enkapsülasyon Veriminin Bulunması

Enkapsülasyon verimi hesaplanırken literatürdeki benzer çalışmalar yardımıyla oluşturulan denklem 1 kullanılmıştır. Denklemde %EV, enkapsülasyon verimini, toplam yağ miktarı; her deney için başta kullanılan miktarı bilinen yağ miktarını, yüzey yağı miktarı ise kapsüllenememiş yağ miktarını temsil etmektedir.

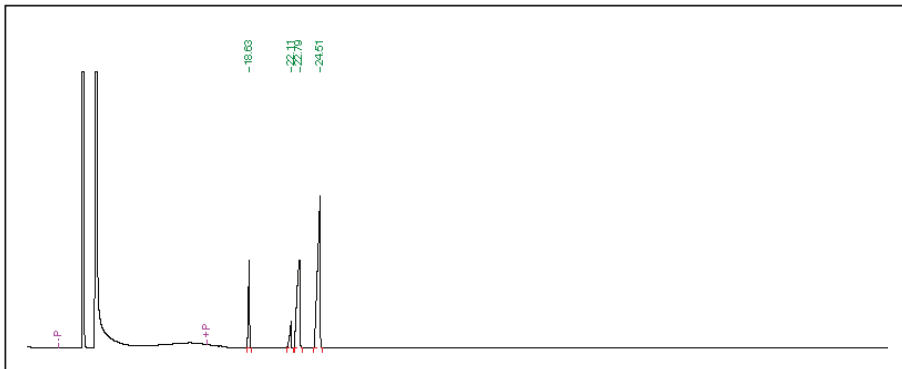
$$\%EV = \frac{\text{Toplam Yağ Miktarı} - \text{Yüzey Yağı Miktarı}}{\text{Toplam Yağ Miktarı}} \times 100 \quad (1)$$

Yüzey yağı miktarı literatürdeki benzer çalışmalardan yola çıkarak oluşturulan formülasyonda; 50 mL n-hekzan içeren bir erlen şişesine kapsül numunesi koyulmuş ve karışım, kapsül yıkımı olmadan ve yapısı bozulmadan 10,00 dakika boyunca hafifçe çalkalanmıştır. Daha sonra çözelti süzgeç kâğıdı ile süzülüş ve n-hekzan rotary evaporatör kullanılarak buharlaştırılmıştır. Yüzeyde bulunan kabak çekirdeği yağı miktarı gravimetrik olarak hesaplanmıştır. Bu işlemler deney setindeki parametrelere göre üretilen tüm numunelere uygulanmıştır (Ocak 2012, Patrickab vd. 2013, Aziz vd. 2014, Hu vd. 2016).

## 3. Bulgular

### 3.1. Kabak Çekirdeği Yağının GC Analizi Sonuçları

Yapılan GC analizinin kromatogramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kabak çekirdeği yağının GC kromatogramı.

Elde edilen sonuçlar ile deneylerde kullanılan kabak çekirdeği yağının içerdiği yağ asitleri ve Abdel-Rahman (2006) adlı yazarın yaptığı çalışmada belirttikleri yağ asitleri miktarları birbirine yakın bulunmuştur ve Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kabak çekirdeği yağının GC analizi sonuçları.

Yağ Asidi (%)	Kullanılan kabak çekirdeği yağı	Abdel-Rahman (2006)
Palmitik Asit	12,48	11,50
Stearik Asit	5,62	7,00
Oleik Asit	32,69	31,20
Linoleik Asit	49,21	47,00

### 3.2. Deneysel Tasarımın Oluşturulması ve Yorumlanması

Kabak çekirdeği yağının enkapsülasyonu için deney setleri YYM ile iki bağımsız değişken (sıcaklık (A), pH (B)) yardımı ile oluşturulmuştur. Yapılan deneylerden hesaplanan enkapsülasyon verimleri cevap yanıtı olarak YYM'e girilerek analiz edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen enkapsülasyon verimini gösteren eşitlik denklem 2'de verilmiştir.

$$\%EV = (-3104,35) + (68,20 * A) + (606,99 * B) - (0,53 * A * A) - (59,21 * B * B) - (2,02 * A * B) \quad (2)$$

Oluşturulan deney seti, cevap yanıtı ve denklem 2'den tahmin edilen (hesaplanan) değerler Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde oluşturulan deney setine girilen deneysel verimler ile tahmin edilen verim değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlara uygulanan ANOVA testinin sonuçları Çizelge 3'te gösterilmiştir. ANOVA analizi sonucunda elde edilen model önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Modelde doğrusallık, kare ve iki yönlü etkileşim önemlidir ( $p < 0,05$ ). Uyum eksikliği değeri 0,11 ( $p > 0,05$ ) bulunmuştur.  $R^2$  değeri %99,44,  $R^2$  (düzeltilmiş) değeri %99,04,  $R^2$  (tahmin edilen) değeri %96,81 bulunmuştur.



**Çizelge 2.** RSM ile oluşturulan deney seti ve tahmin edilen değerler.

No	Sıcaklık	pH	DeneySEL %Verim	Tahmin Edilen %Verim
1	50,00	3,80	48,89	47,49
2	47,93	4,00	37,85	39,44
3	55,00	4,00	77,86	78,43
4	55,00	4,00	77,58	78,43
5	60,00	3,80	69,59	69,14
6	55,00	4,00	78,10	78,43
7	55,00	4,00	78,96	78,43
8	60,00	4,20	74,48	74,05
9	55,00	4,28	79,12	80,02
10	55,00	3,72	66,43	67,36
11	62,07	4,00	64,10	64,35
12	55,00	4,00	79,63	78,43
13	50,00	4,20	61,85	60,47

**Çizelge 3.** RSM için ANOVA sonuçları.

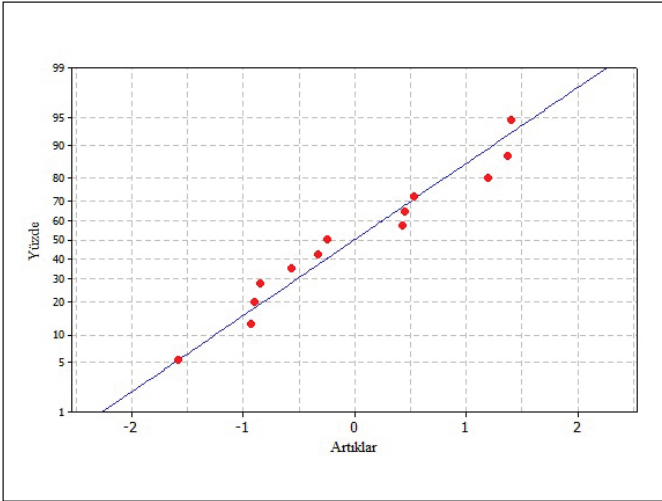
	sd	Ardışık Kareler Toplamı	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
<b>Model</b>	5	2024,29	2024,29	404,86	249,51	0,00
<b>Doğrusal</b>	2	780,71	780,71	390,36	240,57	0,00
A	1	620,59	620,59	620,59	382,46	0,00
B	1	160,12	160,12	160,12	98,68	0,00
<b>Kare</b>	2	1227,30	1227,30	613,65	378,18	0,00
A*A	1	1188,28	1224,42	1224,42	754,59	0,00
B*B	1	39,02	39,02	39,02	24,05	0,00
<b>2-Yönlü Etkileşim</b>	1	16,28	16,28	16,28	10,03	0,02
A*B	1	16,28	16,28	16,28	10,03	0,02
<b>Hata</b>	7	11,36	11,36	1,62		
Uyum Eksikliği	3	8,49	8,49	2,83	3,95	0,11
Saf Hata	4	2,87	2,87	0,72		
<b>Toplam</b>	12	2035,65				
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>R<sup>2</sup>(düzeltilmiş)</b>		<b>R<sup>2</sup>(tahmin edilen)</b>	
%99,44			%99,04		%96,81	

Artıkların dağılımı incelenerek normallik testi grafiği aşağıda Şekil 2'de gösterilmiştir.

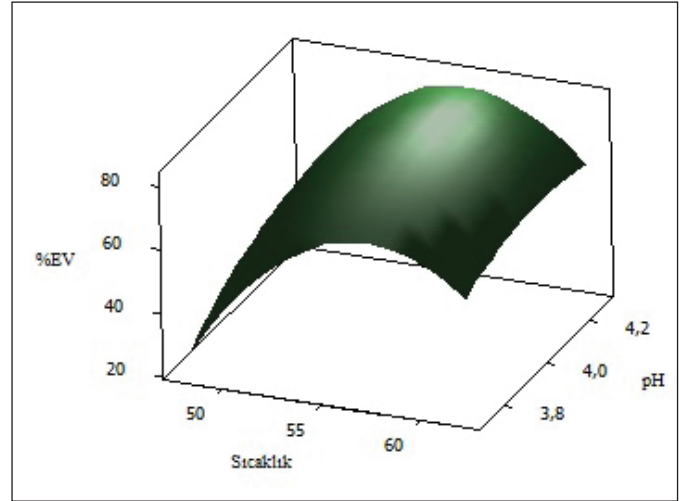
Grafiğin analizinde artıkların ortalaması ve standart sapması 0,97 (n=13) bulunmuştur. Normallik testlerinden biri olan AD testine göre p=0,43 (p>0,05) bulunmuştur. Artıklar normal dağılım göstermektedir. Kompleks koaservasyon yöntemi ile kabak çekirdeğinin enkapsülasyonu için seçilen iki parametrenin (sıcaklık, pH) bir fonksiyonu olarak %EV üç boyutlu yüzey grafiği Şekil 3'te gösterilmiştir.

### 3.3. Enkapsüle Edilen Kabak Çekirdeği Yağının Morfolojik Analizleri

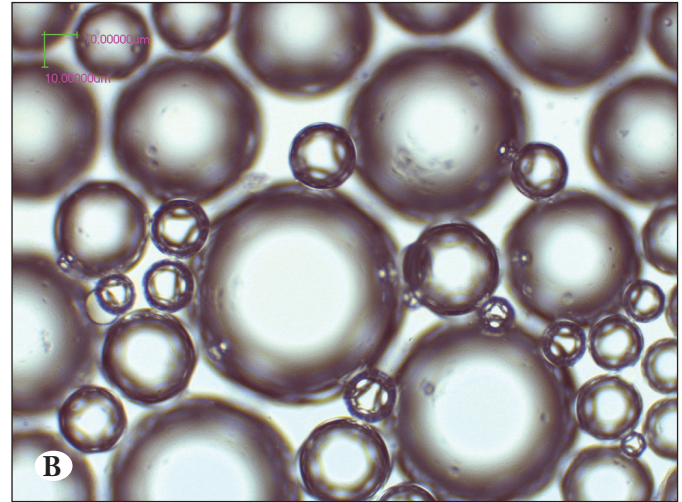
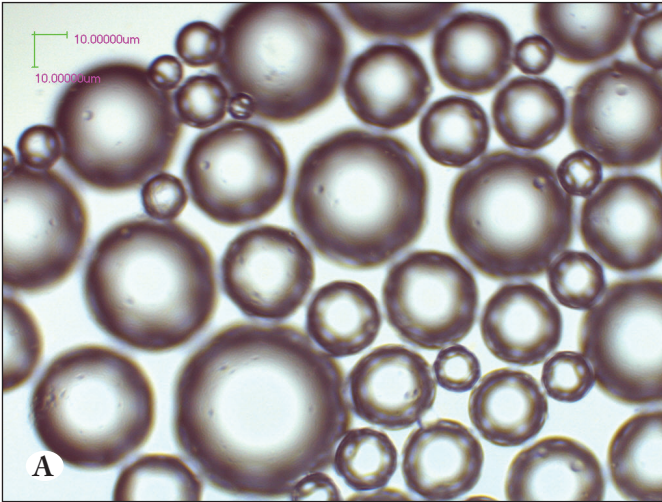
Deney setindeki parametrelere göre deney yapılarak üretilen mikro kapsüller optik mikroskop cihazı altında farklı büyütme oranlarında incelenmiştir. Numunelerin rastgele bir yerinden alınan 0,05 – 0,10 g aralığındaki numune cihazda görüntülenmiştir. Yapılan ölçümlerde kapsüller mikron (µm) boyutunda ölçülmüştür. En yüksek verim elde edilen 12 numaralı deneyden elde edilen optik mikroskop görüntüsü Şekil 4A, B'de gösterilmiştir. Görüntülerdeki mikro-kapsüllerin yuvarlak, düzgün şekilli oldukları gözlenmiştir.



Şekil 2. Artıkların olasılık grafiği.



Şekil 3. Sıcaklık (X eksen) ve pH (Y eksen) değişimine göre %EV'nin (Z eksen) değişimi.



Şekil 4. Yüksek verimli numuneden alınan optik mikroskop görüntüsü.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma sonucunda yanıt yüzey metodolojisi ile oluşturulan deney setlerinde üretilen kapsüller enkapsülasyon verimi açısından analiz edilmiştir. Deney setimizde en yüksek enkapsülasyon verimi 12 numaralı deneyde %79,63 olarak bulunmuştur. Bu deneyin sıcaklığı 55,00, pH'ı 4,00'tür. Yanıt yüzey metodolojisi için ANOVA sonuçları incelendiğinde;  $R^2$ =%99,44, uyum eksikliği değeri 0,11 bulunmuştur. Uyum eksikliği değeri ( $p > 0,05$ ) model ile verinin uyduğuna göstermektedir. Şekil 2'deki 3 boyutlu yüzey grafiği incelendiğinde sıcaklık yaklaşık olarak 52,50-57,50 aralığında, pH yaklaşık 3,90-4,10 aralığında grafiğin tepe noktalarını oluşturmuştur. Sıcaklığın çok düşük veya çok yüksek olmasının enkapsülasyon verimini düşürdüğü gözlenmiştir. Aynı

şekilde pH'taki değişiminde verimi etkilediği gözlenmiştir. Sıcaklık ve pH'ının belirli aralıklar içerisinde birlikte artması veya azalması %EV'yi etkilemiştir. Timilsena vd. (2019) yaptıkları çalışmada jelatin ve Arap zamkının optimum pH'ını 4,0 ve polimer oranını 1:1 olarak bildirmişlerdir. Shaddel vd. (2018) jelatin ve Arap zamkı duvar materyallerini kullanarak kompleks koaservasyon metoduyla yapmış oldukları benzer çalışmada da farklı polimer oranlarıyla enkapsülasyon deneylerini gerçekleştirmişler, en iyi sonucun polimer oranları 1:1 olan deneylerinde gözlemlediklerini bildirmişlerdir. Çalışmamızda bulduğumuz sonuçlarda literatürdeki bu benzer çalışmalardaki sonuçlarla benzerlik göstermiş, jelatin/Arap zamkı en yüksek %EV'yi pH 4,00 olan 12 numaralı deneyde bulunmuştur. 9 numaralı deneyde

(55,00 °C, pH=4,00) %EV=79,12 bulunmuştur. Bulduğumuz en yüksek değer olmamasına rağmen 12 numaralı deneyde bulunan en yüksek %79,63'lük değere yakındır. Aziz vd. (2014) yaptıkları çalışmada da benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Aynı parametrelerde yapılan veya yakın parametrelerde yapılan deneyler arasındaki küçük farklılıkların kimyasal bir yöntem olan kompleks koaservasyon yönteminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sohail vd. (2018) yaptıkları çalışmada kabak çekirdeği yağını sodyum aljinat duvar materyali ile ekstrüzyon yöntemiyle kapsülleyerek makro-küreler elde etmişlerdir. Çalışmada bulunan enkapsülasyon verimi (%91,9) bizim çalışmamızdan fazladır, ancak kullanılan yöntem, duvar materyalleri ve elde edilen kapsüllerin boyutları farklıdır.

Optik mikroskoptan elde edilen görüntüler incelendiğinde elde edilen kapsüllerin düzgün şekilli oldukları ve yapılan ölçümler ile mikron boyutunda olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Mikrokapsüllerin şekilsel özellikleri daha önce greyfurt kabuğu yağı ve shea yağı ile yapılan çalışmalarımızdaki sonuçlarla benzerlik göstermektedir (Bayram vd. 2019, Köksal vd. 2019). Kabak çekirdeği yağının enkapsülasyonundan üretilen mikrokapsüller gıda, ilaç, kozmetik gibi alanlarda kullanılabilir. Çalışmamızda kullanılan deney tasarımı elde edilen sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Bu bağlamda kabak çekirdeği yağının enkapsülasyonunda ileriki çalışmalara yol gösterici olacaktır.

## 5. Kaynaklar

- Abdel-Rahman, M. K., 2006.** Effect of pumpkin seed (*Cucurbita pepo* L.) diets on benign prostatic hyperplasia (BPH): chemical and morphometric evaluation in rats. *World J Chem*, 1(1), 33-40.
- Acharya, A. S., Prakash, A., Saxena, P., Nigam, A., 2013.** Sampling: Why and how of it. *Indian Journal of Medical Specialties*, 4(2), 330-333, DOI: 10.7713/ijms.2013.0032
- Aksoylu Özbek, Z. 2018.** Kabak Çekirdeği Yağının Mikroenkapsülasyonunun Optimizasyonu. Doktora Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 290s.
- Aziz, S., Gill, J., Dutilleul, P., Neufeld, R., Kermasha, S., 2014.** Microencapsulation of krill oil using complex coacervation. *Journal of Microencapsulation*, 31(8), 774-784, DOI: 10.3109/02652048.2014.932028.
- Bayram O., Köksal E., Danaş F., Göde F., Erzenin Ö. U., 2019.** A Statistical Investigation of the Effects of Different Surfactant Concentrations on the Capsule Size in the Encapsulation of Grapefruit (*Citrus Paradisi* Macf.) Peel Oil By Complex Coacervation Method. 2<sup>nd</sup> International Health Science And Life Congress, 24-27 April, Burdur, 486-497.
- Caili, F. U., Huan, S., Quanhong, L. I., 2006.** A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin. *Plant Foods for Human Nutrition*, 61(2), 70-77, DOI: 10.1007/s11130-006-0016-6.
- Evranuz, E. Ö., Arduzlar-Kağan, D., 2015.** Winter Squash and Pumpkins. In Handbook of Vegetable Preservation and Processing, CRC Press, 692-711.
- Gohari, A. A., Farhoosh, R., Haddad, K. M., 2011.** Chemical composition and physicochemical properties of pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* Subsp. *pepo* Var. *Styriaca*) grown in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13, 1053-1063.
- Hu, L., Zhang, J., Hu, Q., Gao, N., Wang, S., Sun, Y., Yang, X. 2016.** Microencapsulation Of *Brucea Javanica* Oil: Characterization, Stability And Optimization Of Spray Drying Conditions. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 36, 46-54, DOI: 10.1016/j.jddst.2016.09.008
- Jyothi, N. V. N., Prasanna, P. M., Sakarkar, S. N., Prabha, K. S., Ramaiah, P. S., Srawan, G. Y., 2010.** Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. *Journal of Microencapsulation*, 27(3), 187-197, DOI: 10.3109/02652040903131301.
- Köksal, E. 2016.** Kompleks Koaservasyon Yöntemi İle E Vitamini İçeren Mikrokapsül Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 69s.
- Köksal, E., Bayram O., Danaş, F., Göde, F., Aktaş A. H., 2019.** Shea Yağının Mikrokapsülenmesi: Optimizasyon Ve Karakterizasyon Çalışması. 2. Uluslararası Sağlık Bilimleri Ve Yaşam Kongresi, 24-27 Nisan, Burdur, 737-748.
- Kwak, H. S., 2014.** Nano- and Microencapsulation for Foods. Wiley & Sons, 1-14, DOI: 10.1002/9781118292327.
- Murkovic, M., Pfannhauser, W., 2000.** Stability of pumpkin seed oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102(10), 607-611, DOI: 10.1002/1438-9312(200010)102:10<607:AID-EJLT607>3.0.CO;2-E
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., Anderson-Cook, C. M., 2016.** Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. John Wiley & Sons.
- Nederal, S., Petrović, M., Vincek, D., Pukey, D., Škevin, D., Kraljić, K., Obranović, M., 2014.** Variance of quality parameters and fatty acid composition in pumpkin seed oil during three crop seasons. *Industrial Crops and Products*, 60, 15-21, DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.05.044
- Nesterenko, A., Alric, I., Silvestre, F., Durrieu, V., 2014.** Comparative study of encapsulation of vitamins with native and modified soy protein. *Food Hydrocolloids*, 38, 172-179, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.12.011.
- Ocak, B., 2012.** Complex coacervation of collagen hydrolysate extracted from leather solid wastes and chitosan for controlled release of lavender oil. *Journal of Environmental Management*, 100, 22-28, DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.01.026

- Patrickab, K. E., Abbasa, S., Lva, Y., Ntsamacd, I. S. B., Zhanga, X. 2013.** Microencapsulation By Complex Coacervation Of Fish Oil Using Gelatin/SDS/NaCMC. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 23(1), 17-25.
- Rajam, R., Anandharamakrishnan, C., 2015.** Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* (MTCC 5422) with fructooligosaccharide as wall material by spray drying. *LWT-Food Science and Technology*, 60(2), 773-780, DOI: 10.1016/j.lwt.2014.09.062
- Sharifi, F., Hadizadeh, F., Sadeghi, F., Hamed Mosavian, M. T., Zarei, C., 2016.** Process Optimization, Physical Properties, and Environmental Stability of an  $\alpha$ -Tocopherol Nanocapsule Preparation Using Complex Coacervation Method and Full Factorial Design. *Chemical Engineering Communications*, 203(1), 64-74, DOI: 10.1080/00986445.2014.973941
- Shaddel, R., Hesari, J., Azadmard-Damichi, S., Hamishehkar, H., Fathi-Achachlouei, B., Huang, Q., 2018.** Use of gelatin and gum Arabic for encapsulation of black raspberry anthocyanins by complex coacervation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 1800-1810, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.10.044
- Sohail, A., Abbasi, K. S., Arif, M., & Najam, F. (2019).** Encapsulation of pumpkin seed oil in alginate capsules. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 32(1), 20. DOI: 10.17582/journal.pjar/2019/32.1.20.
- Stevenson, D. G., Eller, F. J., Wang, L., Jane, J. L., Wang, T., Inglett, G. E., 2007.** Oil and tocopherol content and composition of pumpkin seed oil in 12 cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), 4005-4013, DOI: 10.1021/jf0706979
- Timilsena, Y. P., Akanbi, T. O., Khalid, N., Adhikari, B., Barrow, C. J., 2019.** Complex coacervation: Principles, mechanisms and applications in microencapsulation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 121, 1276-1286, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.144
- Veronezi, C. M., Jorge, N., 2012.** Bioactive compounds in lipid fractions of pumpkin (*Cucurbita* sp) seeds for use in food. *Journal of Food Science*, 77(6), 653-657, DOI: 10.1111/j.1750-3841.2012.02736.x
- Yadav, M., Jain, S., Tomar, R., Prasad, G. B. K. S., Yadav, H., 2010.** Medicinal and biological potential of pumpkin: an updated review. *Nutrition Research Reviews*, 23(2), 184-190, DOI: 10.1017/S0954422410000107
- Yanmaz, R., Düzeltir, B., 2003.** Çekirdek kabağı yetiştiriciliği. *Ekin Dergisi*, 7(6), 22-24.
- Zuidam, N. J., Shimoni, E., 2010.** Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*, pp. 3-29, DOI: 10.1007/978-1-4419-1008-0\_2





# Voltammetric Determination of Pendimethalin with Nafion-Graphene Modified Glassy Carbon Electrode

*Nafyon-Grafenle Modifiye Edilmiş Camısı Karbon Elektrot ile Pendimethalinin Voltammetrik Tayini*

Berna Koçak<sup>1\*</sup>, Hüseyin Çelikkan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Munzur University, Vocational School of Tunceli, Laboratory Technology Programme, Tunceli, Turkey

<sup>2</sup>Gazi University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Ankara, Turkey

## Abstract

In this study, the voltammetric behavior of pendimethalin was investigated at a glassy carbon electrode (GCE) and a nafion-graphene modified glassy carbon electrode (n-GR/GCE). The electrochemical characterization of pendimethalin was carried out using cyclic voltammetry (CV) technique. For the determination studies performed with GCE, the differential pulse voltammetry (DPV) technique was employed, while the differential pulse adsorptive stripping voltammetry (DPAdSV) method was used for the determination studies with n-GR/GCE. First of all, optimal experimental conditions were established for both electrodes, a calibration curve was plotted and linear working ranges were identified. For the 1st peak current of pendimethalin, the working range of the calibration curve drawn by DPV technique with GCE was  $1.56 \times 10^{-6}$ - $1.08 \times 10^{-3}$  M with the limit of detection (LOD) value calculated as  $3.09 \times 10^{-5}$  M. For the 2nd peak current of pendimethalin, the working range of the calibration curve created by DPV technique with GCE was  $1.56 \times 10^{-6}$ - $9.73 \times 10^{-4}$  M and the LOD value was found to be  $3.36 \times 10^{-6}$  M. For the 1st peak current of pendimethalin, the working range of the calibration curve constructed by DPAdSV technique with n-GR/GCE was determined to be  $1.76 \times 10^{-6}$ - $4.01 \times 10^{-4}$  M with the LOD value being  $8.69 \times 10^{-6}$  M. For the 2nd peak current of pendimethalin, the working range of the calibration curve obtained by DPAdSV technique with n-GR/GCE was  $1.96 \times 10^{-9}$ - $7.53 \times 10^{-4}$  M with the LOD value calculated as  $1.05 \times 10^{-9}$  M.

**Keywords:** Graphene, Modified electrode, Pendimethalin, Pesticide, Voltammetry

## Öz

Bu çalışmada, pendimethalinin voltammetrik davranışı camısı karbon elektrot (GCE) ve nafyon-grafenle ile modifiye edilmiş camısı karbon elektrot (n-GR/GCE) ile incelenmiştir. Pendimethalinin elektrokimyasal karakterizasyonu dönüşümlü voltametri (CV) yöntemi ile belirlenerek, GCE ile yapılan tayin çalışmalarında diferansiyel puls voltametri (DPV), n-GR/GCE ile yapılan tayin çalışmalarında diferansiyel puls adsorptive sıyırma voltametri (DPAdSV) yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle her iki elektrot için optimum deney şartları belirlenerek, kalibrasyon grafiği oluşturulmuş ve doğrusal çalışma aralığı belirlenmiştir. Pendimethalinin 1.pik akımı için GCE'la DPV yöntemiyle oluşturulan kalibrasyon grafiğinin çalışma aralığı  $1,56 \times 10^{-6}$ - $1,08 \times 10^{-3}$ M ve gözlenebilir sınıırı (LOD) değeri  $3,09 \times 10^{-5}$  M olarak bulunmuştur. Pendimethalinin 2.pik akımı için GCE'la DPV yöntemiyle oluşturulan kalibrasyon grafiğinin çalışma aralığı  $1,56 \times 10^{-6}$ - $9,73 \times 10^{-4}$ M ve LOD değeri  $3,36 \times 10^{-6}$  M olarak bulunmuştur. Pendimethalinin 1.pik akımı için n-GR/GCE'la DPAdSV yöntemiyle oluşturulan kalibrasyon grafiğinin çalışma aralığı  $1,76 \times 10^{-6}$ - $4,01 \times 10^{-4}$ M ve gözlenebilir sınıırı (LOD) değeri  $8,69 \times 10^{-6}$ M olarak bulunmuştur. Pendimethalinin 2.pik akımı için n-GR/GCE'la DPAdSV yöntemiyle oluşturulan kalibrasyon grafiğinin çalışma aralığı  $1,96 \times 10^{-9}$ - $7,53 \times 10^{-4}$  M ve LOD değeri  $1,05 \times 10^{-9}$  olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Grafen, Modifiye elektrot, Pendimethalin, Pestisit, Voltametri

## 1. Introduction

Pendimethalin (Figure 1) is an herbicide in the dinitroaniline family used to control grassy and broadleaf weeds in crops

such as corn, rice, potatoes, cotton, tobacco, black pepper, soybeans, wheat, tomatoes, peanuts, sunflowers, and onions (Zimdahl et al. 1984, Gerent et al. 2015, Saha et al.2015, Galli et al. 2018,).

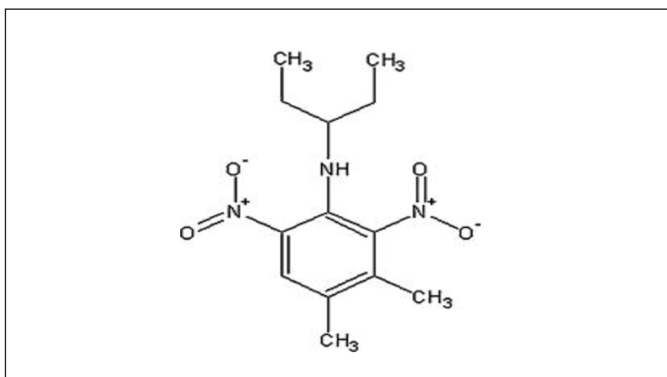
Pendimethalin is resistant to microbial degradation, has a half-life of 90 days, and is strongly absorbed in the soil (Ni et al. 2011). The excess of pendimethalin used in the

\*Corresponding author: [bernakocak@munzur.edu.tr](mailto:bernakocak@munzur.edu.tr)

Berna Koçak [orcid.org/0000-0002-2398-1492](https://orcid.org/0000-0002-2398-1492)

Hüseyin Çelikkan [orcid.org/0000-0002-8016-3082](https://orcid.org/0000-0002-8016-3082)





**Figure 1.** Chemical structure of pendimethalin (Gerent et al. 2015).

agricultural sector causes various environmental problems such as soil, water and air pollution (Gerent et al. 2015).

Recent studies have shown that pendimethalin leads to a series of physiological changes and endocrine effects such as liver, kidney damage and mutagenic effect, thus causing increased environmental and toxicological concerns (Shah et al. 2011). For this reason, it is of great importance to develop fast, low-cost, simple and large-scale methods for the determination of pendimethalin.

The literature review shows that several methods that required specialized technicians, expensive devices, and time-consuming processes such as pre-compilation were employed for the determination of pendimethalin including high-performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry (Yang et al. 2018, Yang et al. 2019), gas chromatography-electron capture detector (Zhang et al. 2019), ultra-performance liquid chromatography-sequential mass spectrometry (Lim et al. 2017), liquid chromatography-sequential mass spectrometry (LC-MS / MS) (Saha et al. 2015, Bordin et al. 2017, Pavlidis et al. 2019), gas chromatography-sequential mass spectrometry (Penetra et al. 2010, Wu et al. 2013,). Instead of these methods, low-cost, sensitive, and highly selective electrochemical methods may be preferred for the determination of pendimethalin (Kotouček et al. 1996, Vaňková et al. 1997, Sreedhar et al. 2000, Galli et al. 2011, Ni et al. 2011 Gerent et al. 2015 de Lima et al. 2016).

Graphene, discovered in 2004, is a two-dimensional carbon allotrope and has a hexagonal structure (Novoselov et al., 2004, Neto et al., 2009). Due to its electrical conductivity, large surface area, affordability, and easy accessibility, graphene is an ideal material for electrochemistry (Pumera et al., 2010, Fan et al. 2011, Sun et al., 2011). Graphene

nanosheets tend to form irreversible stacks through strong  $\pi$ - $\pi$  stacking, and since this Van der Waals interaction limits the applications of graphene, nafion is applied to prevent this (Xue et al. 2013). Nafion exfoliates graphene by electrosteric mechanism and is strongly absorbed into the graphene surface by hydrophobic interaction. It is an amphiphilic polymer that can solve graphene nanocomposite effectively and can be used for antifouling coating and to reduce the effect of surface-active macromolecules (Li et al. 2009, Fan et al. 2011, Filik et al., 2014). Besides, the properties nafion has, including chemical inertness, thermal stability, mechanical strength, capacity, huge cation exchange, and antifouling features cause the polymer to be widely applied for electrode modification (Tajeu et al. 2020).

In this study, electrochemical behavior and voltammetric determination of pendimethalin were performed with GCE and n-GR/GCE. The electrochemical behavior of pendimethalin was investigated for both electrodes using the CV method. The voltammetric determination of pendimethalin with n-GR/GCE was conducted by the DPAdSV method and with GCE by DPV method. The working ranges, LOD and Limit of Qualification (LOQ) were calculated for both electrodes. The results obtained showed that n-GR/GCE performs better for the determination of pendimethalin. In addition, the interference effect of some cations on pendimethalin was analyzed with n-GR/GCE and the selectivity of the method was determined. A sensitive, fast and selective method was developed for the determination of pendimethalin with n-GR/GCE without any pre-dissociation process. And there were no preceding studies investigating the electrochemical behavior and voltammetric analysis of pendimethalin with these electrodes.

## 2. Material and Method

### 2.1. Devices

Electrochemical experiments were carried out by Ivium pocketstat (potentiostat/galvanostat impedance analyzer). The data obtained were evaluated using Ivium software. C4 Cell Stand was used and pH measurements were performed with the Ohaus starter 3000 Bench pH meter. Prior to measurement, the pH meter was calibrated at three points using Ohaus standard pH buffer solutions. A Bell balance ( $\pm 0.0001$  g precision) was used for weighing. Ultra-pure water obtained from Millipore direct-3QV was used for preparing aqueous solutions and cleaning electrodes.

## 2.2. Electrodes

During experimental studies, the three-electrode system was applied. GCE (CHI 104) was employed as the working electrode, Ag/AgCl (3 M NaCl) electrode (MF-2052, BASi) served as the reference electrode and Pt wire acted as the counter electrode.

## 2.3. Chemicals

The chemicals used for the study include acetonitrile, sodium hydroxide (NaOH), sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ), hydrochloric acid (HCl), sodium hydrogen phosphate ( $Na_2HPO_4$ ), sodium dihydrogen phosphate ( $NaH_2PO_4$ ), calcium chloride ( $CaCl_2$ ), lead nitrate ( $Pb(NO_3)_2$ ), nickel nitrate hexahydrate ( $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ), copper nitrate trihydrate ( $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ ), and all of them were of analytical grade and were received from Merck. In this study, graphene synthesized and characterized by Kocak et al., 2015 was applied to modify the electrode surface (Kocak et al.2015).

## 2.4. Solutions

The stock solution of pendimethalin at a concentration of  $1.0 \times 10^{-2}$  M was prepared in acetonitrile and stored at  $+4^\circ C$ . In order to determine the working conditions of pendimethalin,  $H_2SO_4$  solution was used for pH 1 and pH 2, phosphate buffer solution for the range between pH 3 and 12, and NaOH solution for pH 13.

## 2.5. Polishing Process of GCE and Modification of GCE with n-GR

A small amount of aluminum oxide (alumina,  $Al_2O_3$ , 0.05  $\mu m$ ) was poured on polishing pad and turned into a slurry with ultra-pure water. After cleaning the GCE surface by circular movements on this slurry, it was washed with ultra-pure water. Then, to clean the surface of the electrode, it was placed in a beaker containing ultra-pure water for 5 minutes in the ultrasonic bath. 1.0 mg/ml graphene was dispersed in the ultrasonic bath by adding 25 % nafion. 5  $\mu l$  was taken from this mixture and dripped on the surface of GCE and left in room conditions for the solvent to evaporate.

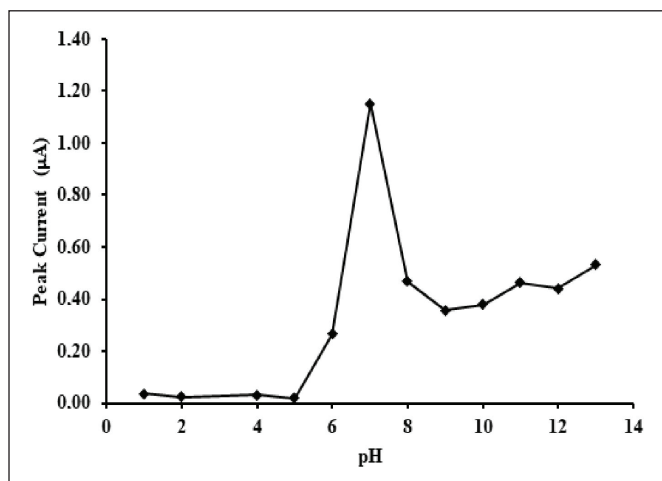
## 3. Results and Discussion

### 3.1. Electrochemical Behavior of Pendimethalin

When the electrochemical behavior of pendimethalin was examined by cyclic voltammetry between 0 V and -1.5 V in the pH 7 phosphate buffer solution with a GCE, two well-defined peaks were observed at -1.056 V (1st peak) and -0.954 V (2nd peak). No peak was present in the

opposite direction scanning. This suggests that the reaction is irreversible (Galli et al. 2011). In voltammetric analyses, the type and pH value of the supporting electrolyte solution have a significant effect on the reduction and oxidation of the substance to be analyzed (Tabanlıgil 2019).

To determine the working conditions of pendimethalin, the change in peak current with pH was studied by differential pulse voltammetry using GCE. Two well-defined peaks were observed in all the solutions between pH 2 and 12. Considering the change in the 1st peak current with pH, the pH 7 phosphate buffer was selected as the supporting electrolyte, where the highest peak current was obtained (Figure 2). In subsequent analyses, pH 7 phosphate buffer solution was used.



**Figure 2.** The effect of pH on the 1st peak current of  $9.99 \times 10^{-6}$  M pendimethalin using GCE with DPV method

### 3.2. Effect of Scan Rate on Electrochemical Behavior of Pendimethalin on GCE and n-GR/GCE

Cyclic voltammograms of pendimethalin were obtained from the pH 7.0 phosphate buffer solution, scanning the potential in the negative direction in the range of 0 V to -1.5 V. Scan rate voltammograms of  $9.99 \times 10^{-6}$  M pendimethalin were obtained with GCE in the range of 5 mV/s and 750 mV/s (Figure 3a) and scan rate voltammograms of  $3.0 \times 10^{-5}$  M pendimethalin were taken between 5 mV/s and 1000 mV/s using n-GR/GCE (Figure 3b).

To determine the electrochemical behavior of pendimethalin on the surfaces of GCE and n-GR/GCE, the logarithm of the peak current ( $\log I_p$ ) was plotted against the logarithm of the scan rate ( $\log v$ ) (Figure 4). The equation of the obtained lines was given in Table 1.

It can be seen from Table 1 that for GCE; when the logarithm of the peak current was plotted against the logarithm of the scan rate, the values of slope of the line were found as 0.435 (for 1st peak current) and 0.388 (for 2nd peak current). For n-GR/GCE; when the logarithm of the peak current versus the logarithm of the scan rate

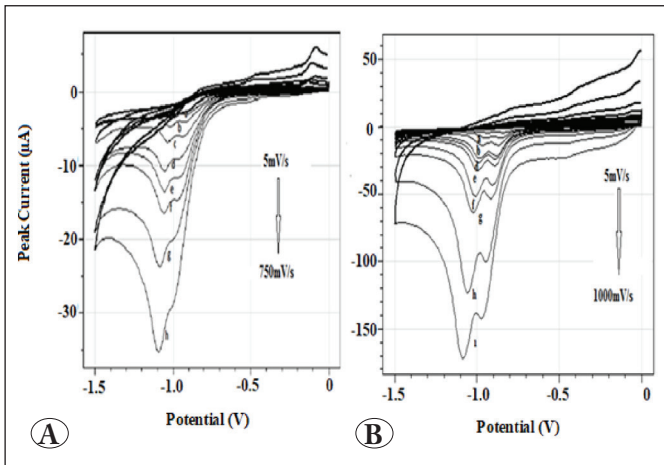
was plotted, the values of slope of the line were calculated as 0.819 (for 1st peak current) and 0.587 (for 2nd peak current). From the Randles-Sevcik equation, a linear slope of 0.5 is obtained between  $\log ip$  and  $\log v$  for diffusion-controlled reactions. If the reaction is adsorption controlled, the slope is equal to 1. Experimental data obtained for GCE show that the electrode reaction is diffusion-controlled, the reaction on n-GR/GCE surface is diffusion-controlled, as well as effective in adsorption (Laviron et al. 1980).

### 3.3. Voltammetric Determination of Pendimethalin

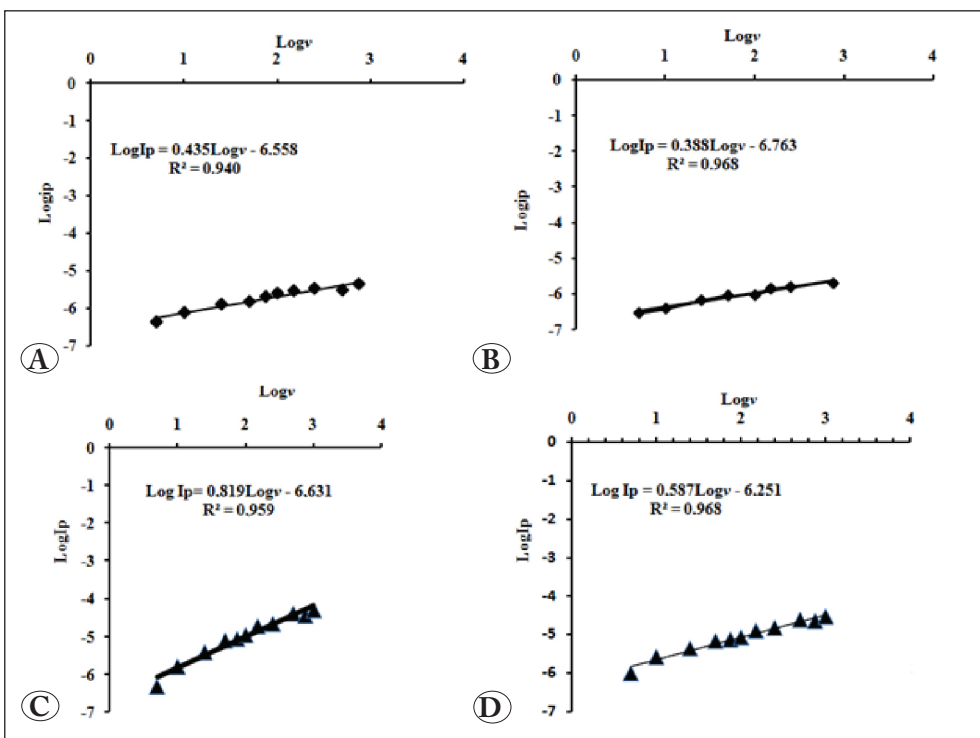
#### 3.3.1. Determination of the Working Range, LOD and LOQ of Pendimethalin by DPV at GCE

In the calibration studies of pendimethalin with GCE, DPV was employed to determine the working range. By adding standard pendimethalin solutions to a 5 ml pH 7 phosphate buffer solution, DPVs were obtained (Figure 5) and a calibration curve (Figure 6) was drawn.

A linear increase in both peak currents depending on the concentration of pendimethalin indicates that this pesticide can be determined by the DPV technique with GCE. When peak currents versus pendimethalin concentration were plotted, the calibration curve and working range were determined for 1st peak current and 2nd peak current separately. The calibration curve of the 1st and 2nd peak currents of pendimethalin is shown in Figure 6.



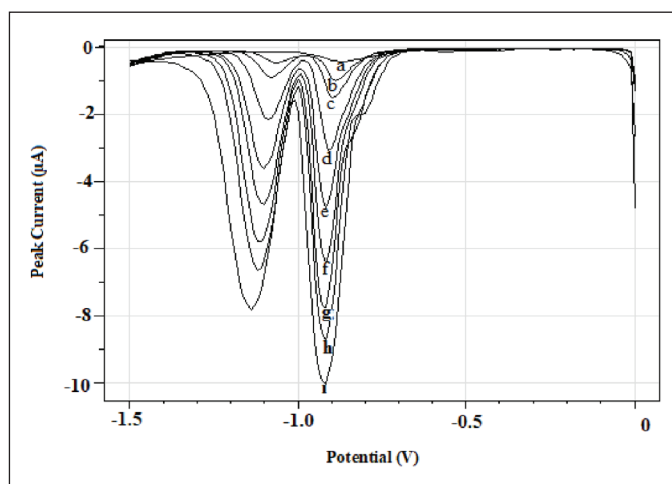
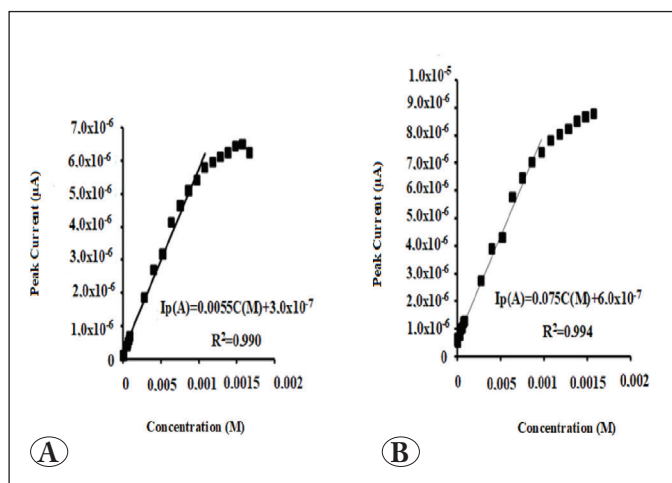
**Figure 3.** A) Cyclic voltammograms of  $9.99 \times 10^{-6}$  M pendimethalin with GCE from pH 7 phosphate buffer in the range of 5 - 750 mV/s scan rate a) 5, b) 10, c) 25, d) 50, e) 100, f) 150, g) 250, h) 750 mV/s. B) Cyclic voltammograms of  $3.0 \times 10^{-5}$  M pendimethalin in the range of 5 - 1000 mV/s scan rate with n-GR/GCE from pH 7 phosphate buffer solution a) 5, b) 10, c) 25, d) 50, e) 75, g) 150, h) 250, i) 500, j) 1000 mV/s.



**Figure 4.** A)  $\log v$ - $\log I_p$  graph of  $9.99 \times 10^{-6}$  M pendimethalin in the range of 5 - 750 mV/s scan rate at pH 7 phosphate buffer with GCE for 1st peak current, B) for 2nd peak current; C)  $\log v$ - $\log I_p$  graph of  $3 \times 10^{-5}$  M pendimethalin in the range of 5-1000 mV/s scan rate at pH 7 phosphate buffer solution with n-GR/GCE for 1st peak current, D) for 2nd peak current.

**Table 1.** The linear equations obtained for GCE and n-GR/GCE (for 1st and 2nd peak current)

Electrodes	For 1st peak Current	For 2nd peak current
GCE	$\log I_p (\mu\text{A})=0.435 \log v (\text{mV s}^{-1})-6.558$ $R^2=0.940$	$\log I_p (\mu\text{A})=0.388 \log v (\text{mVs}^{-1})-6.763$ $R^2=0.968$
n-GR/GCE	$\log I_p (\mu\text{A})=0.819 \log v (\text{mVs}^{-1})-6.631$ $R^2=0.959$	$\log I_p (\mu\text{A})=0.587 \log v (\text{mVs}^{-1})-6.251$ $R^2=0.968$

**Figure 5.** Voltammograms showing changes in concentration and peak currents of pendimethalin using DPV technique with GCE in pH 7 phosphate buffer solution; a) phosphate buffer solution (pH 7.0) b)  $3.50 \times 10^{-5}$  c)  $8.69 \times 10^{-5}$  d)  $2.79 \times 10^{-4}$  e)  $5.21 \times 10^{-4}$  f)  $6.38 \times 10^{-4}$  g)  $8.64 \times 10^{-4}$  h)  $1.08 \times 10^{-3}$ , i)  $1.58 \times 10^{-3}$  M.**Figure 6.** Peak current graph of pendimethalin versus concentration using GCE at pH 7 phosphate buffer solution A) for 1st peak current B) for 2nd peak current.

From the calibration curve given in Figure 6a, the working range of the 1st peak current was calculated as  $1.56 \times 10^{-6}$ – $1.08 \times 10^{-3}$  M.

The linear equation is as follows:

$$I_p (\text{A}) = 0.0055 C (\text{M}) - 3.0 \times 10^{-7}; R^2 = 0.990$$

On the other hand, the calibration curve of pendimethalin for 2nd peak current was shown in Figure 6b. From this calibration curve, the working range for 2nd peak current was found as  $1.56 \times 10^{-6}$  –  $9.73 \times 10^{-4}$  M.

The linear equation is as follows:

$$I_p (\text{A}) = 0.0075 C (\text{M}) - 6.0 \times 10^{-7}; R^2 = 0.994$$

At the next concentration ( $4.0 \times 10^{-5}$  M) following the lowest one on the calibration curve of pendimethalin drawn by the DPV technique with GCE, the voltammograms were recorded, each of them repeated 3 times in 5 separate cells, and mean and standard deviation of 5 current values which were close to each other were calculated. The LOD value was calculated by the  $3S/m$  formula, while the LOQ value by the  $10S/m$  formula. For the 1st peak, LOD value was  $3.09 \times 10^{-5}$  M, and LOQ value was  $1.03 \times 10^{-4}$  M. As for 2nd peak, LOD value was  $3.36 \times 10^{-6}$  M, while the LOQ value was  $1.12 \times 10^{-5}$  M.

Within-day reproducibility of 1st and 2nd peak currents and peak potential of  $1.0 \times 10^{-4}$  M pendimethalin was investigated by DPV technique using GCE. When the reproducibility of GCE was examined, the values of RSD % of 1st peak current and 2nd peak current were found as 2.24 % and 1.64, respectively. And reproducibility of peak potential was RSD % 5.63 (1st peak) and RSD % 1.47 (2nd peak).



### 3.3.2. Determination of the Working Range of Pendimethalin by DPAdSV at n-GR/GCE

First, the accumulation potential ( $E_{acc}$ ) of  $1.0 \times 10^{-6}$  M pendimethalin on the surface of n-GR/GCE was analyzed using the DPV technique in pH 7 phosphate buffer (20 % acetonitrile) solution varying from 0.1 V to -0.8 V by -0.1 V steps. From Figure 7a, when the effect of the accumulation potential on the current was examined, it was clear that the best current was obtained at 0 V. In subsequent studies, 0 V was used as  $E_{acc}$ .

When the accumulation time ( $t_{acc}$ ) was changed from 0s to 350s and its effect on the peak current was examined, the highest peak current at 0 V accumulation potential was obtained at 300s (Figure 7b). In subsequent studies, the accumulation time was used as 300s.

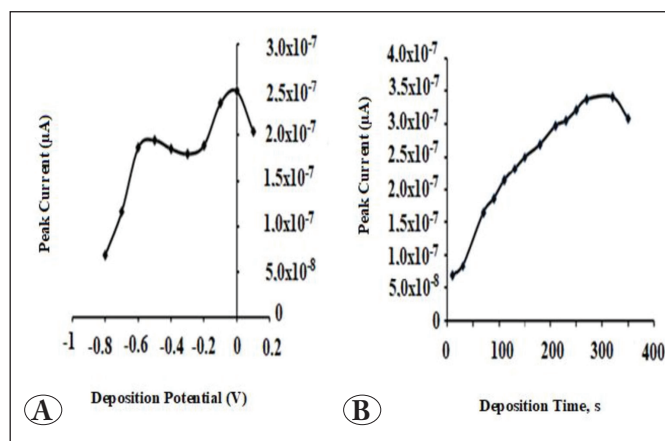
The optimum accumulation potential of  $1.0 \times 10^{-6}$  M pendimethalin solution with n-GR/GCE was identified as 0 V and the accumulation potential as 300 s. After optimizing the parameters, DPAdS voltammograms were obtained (Figure 8) and a calibration curve was plotted (Figure 9).

In calibration studies of pendimethalin by the DPAdSV technique with n-GR/GCE, working solutions were prepared by adding a known amount of different pendimethalin stock solution to the pH 7 phosphate buffer solution (20 % acetonitrile). Shifts were observed in peak potential when concentration increased. This indicates a strong adsorption on the modified electrode surface (Galli et al. 2010). The calibration graph of the pendimethalin was drawn by using the peak currents measured from the voltammograms obtained with the addition of pendimethalin under optimum conditions. Working range of n-GR/GCE for pendimethalin determination for 1st peak current by DPAdSV technique was  $1.7 \times 10^{-6}$  -  $4.01 \times 10^{-4}$  M, while for 2nd peak, it was  $1.96 \times 10^{-9}$  -  $7.53 \times 10^{-4}$  M. Calibration curves of pendimethalin drawn by the DPAdSV technique with n-GR/GCE (1st peak current and 2nd peak current) were shown in Figure 9.

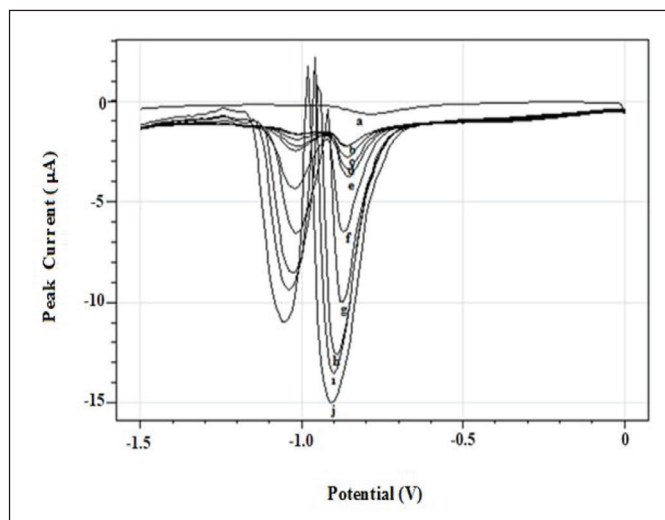
### 3.3.3. Calculation of LOD and LOQ Parameters of Pendimethalin by DPAdSV with n-GR/GCE

At the next concentration ( $3.0 \times 10^{-6}$  M) of pendimethalin following the lowest one on the working range calibration curve for 1st peak, voltammograms were recorded, each of them repeated 3 times in 5 separate cells, and their mean and standard deviation were calculated by averaging the peak currents of voltammograms obtained in each cell.

The LOD value was calculated using the  $3S/m$  formula, while the LOQ value by the  $10S/m$  formula. For the 1st peak, the LOD value was found to be  $8.69 \times 10^{-6}$  M, and the LOQ value was calculated as  $2.90 \times 10^{-5}$  M. At the next concentration ( $4.0 \times 10^{-8}$  M) following the lowest one on the calibration curve for the 1st working range of 2nd peak, voltammograms were recorded, each of them repeated 3 times in 5 separate cells, and their mean and standard deviation were calculated by averaging the peak currents of

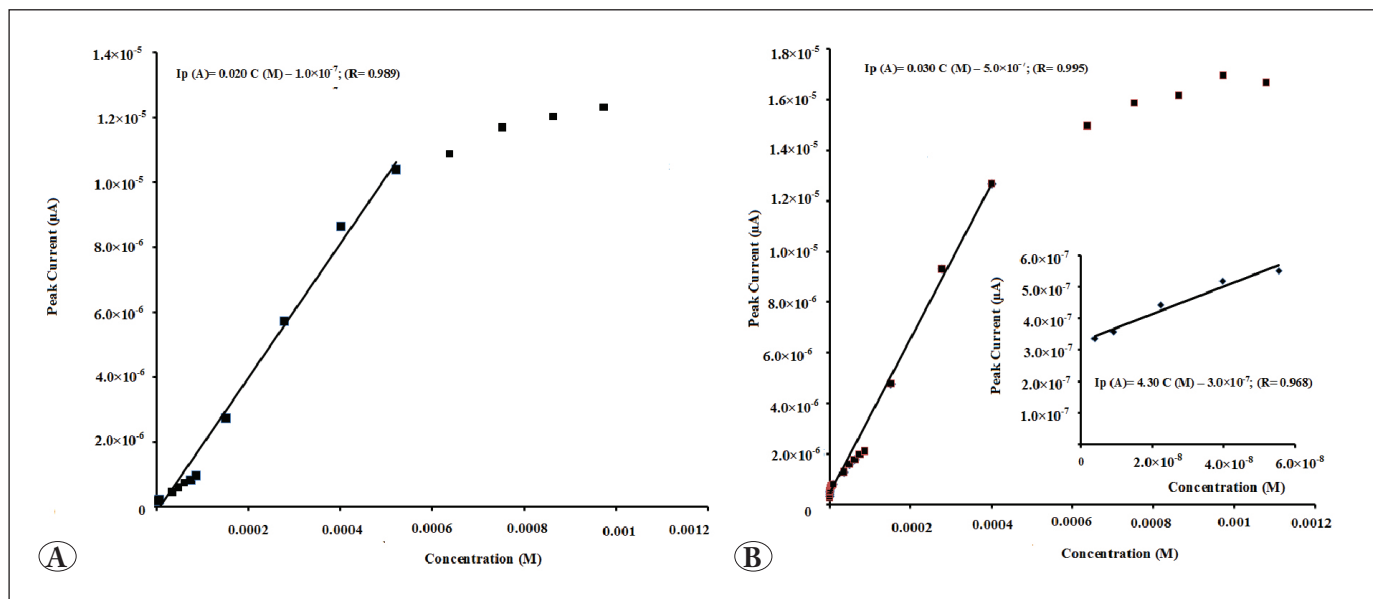


**Figure 7.** A) The effect of accumulation potential of  $1.0 \times 10^{-6}$  M pendimethalin on peak current (scan rate: 50 mV/s, potential range from 0.1 V to -0.8 V), B) the effect of accumulation time on peak current (scan rate: 50 mV/s,  $E_{acc}$ : 0V).



**Figure 8.** Voltammograms showing changes in concentration and peak currents of pendimethalin using DPAdSV technique with n-GR/GCE in pH 7.0 phosphate buffer solution (20 % acetonitrile); a) Phosphate buffer solution (pH 7.0) b)  $8.49 \times 10^{-6}$  c)  $3.50 \times 10^{-5}$  d)  $4.85 \times 10^{-5}$  e)  $7.44 \times 10^{-5}$  f)  $1.51 \times 10^{-4}$  g)  $2.78 \times 10^{-4}$  h)  $4.01 \times 10^{-4}$  i)  $5.21 \times 10^{-4}$  j)  $8.64 \times 10^{-4}$  M.





**Figure 9.** Peak current graph of pendimethalin versus concentration at pH 7 phosphate buffer solution (20 % acetonitrile) with n-GR/GCE **A)** For 1st peak current ( $E_{acc} : 0V, t_{acc} : 300s$ ) **B)** For 2nd peak current.

voltammograms obtained in each cell. The LOD value was  $1.05 \times 10^{-9} M$ , while the LOQ value was  $3.48 \times 10^{-9} M$ .

At the next concentration ( $3.0 \times 10^{-6} M$ ) following the lowest one on the calibration curve for the 2nd working range of 2nd peak, voltammograms were recorded, each of them repeated 3 times in 5 separate cells, and their mean and standard deviation were calculated by averaging the peak currents of voltammograms obtained in each cell. The LOD value was calculated by the  $3S/m$  formula, while the LOQ value by the  $10S/m$  formula. For the 2nd working range of the 2nd peak, the LOD value was found to be  $3.45 \times 10^{-6}$ , while the LOQ value was  $1.15 \times 10^{-5} M$ .

Within-day reproducibility of 1st and 2nd peak current and peak potential was investigated for  $1.0 \times 10^{-4} M$  pendimethalin. Reproducibility of peak current was RSD % 3.26 (1st peak) and RSD % 1.34 (2nd peak). Reproducibility of peak potential was RSD % 1.01 (1st peak current) and RSD % 1.76 (2nd peak current)

### 3.4. Interference Effect

The interference effect of some metal cations ( $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ) possibly present in the same environment as pendimethalin, was investigated to demonstrate the selectivity and preciseness of the method. The interference effect was studied with the ratio of interference species to pendimethalin concentration in  $1.0 \times 10^{-4} M$  pendimethalin being 1:1 and 1:5. The ratio of the 1st and 2nd peak currents

of pendimethalin obtained when there were no species capable of interference to the peak current obtained in the presence of these species was calculated as % recovery.

From Table 3, it is clear that interference species did not affect the 1st peak current, with the ratio of interference species to pendimethalin concentration being 1:1 and 1:5 in  $1.0 \times 10^{-4} M$  pendimethalin. According to the results on the 1st peak current, pendimethalin can be selectively determined with n-GR/GCE in the presence of  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  cations whose interference effects were investigated 1:1.

### 4. Conclusion

In this paper, the voltammetric determination and electrochemical behavior of pendimethalin were performed on the surfaces of GCE and n-GR/GCE. When GCE and n-GR/GCE were compared for voltammetric determination of pendimethalin, it was clear that n-GR/GCE was more suitable due to the advantageous features of graphene such as good electrical conductivity, large surface area, good  $\pi$ - $\pi$  interaction, and strong adsorptive ability. A wider working range, a lower LOD and LOQ were obtained in the determination of pendimethalin with n-GR/GCE using the DPAdSV technique. When the interference effect of some cations on pendimethalin was examined using the n-GR/GCE, the method was found to be more sensitive and selective, based on the 1st peak current, indicating that this method can be used for the determination of pendimethalin

**Table 2.** Analytical parameters for determination of pendimethalin using GCE and n-GR/GCE

Parameters	1st peak (GCE)	2nd peak (GCE)	1 <sup>st</sup> peak (n-graphene/GCE)	2nd peak (n-graphene/GCE)
Linear Working Range (M)	$1.56 \times 10^{-6}$ - $1.08 \times 10^{-3}$	$1.56 \times 10^{-6}$ - $9.73 \times 10^{-4}$	$1.76 \times 10^{-6}$ - $4.01 \times 10^{-4}$	$1.96 \times 10^{-9}$ - $7.53 \times 10^{-4}$
Slope (A/M)	0.0055	0.0075	0.0055	0.0075
Correlation Coefficient	0.990	0.994	0.099	0.094
LOD	$3.09 \times 10^{-5}$	$3.36 \times 10^{-6}$	$8.69 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-9}$
LOQ	$1.03 \times 10^{-4}$	$1.12 \times 10^{-5}$	$2.90 \times 10^{-5}$	$3.48 \times 10^{-9}$
Reproducibility of peak potential	5.60	1.64	1.01	1.76
Reproducibility of peak current	2.24	1.47	3.26	1.34

**Table 3.** Interference effect of some cations in the determination of  $1.0 \times 10^{-4}$  M pendimethalin on n-GR/GCE using DPAdSV method and % recovery values (pH 7)

Interfering Species (1:1)	% Recovery For 1st peak	% Recovery For 2nd peak	Interfering Species (1:5)	% Recovery For 1st peak	% Recovery For 2nd peak
Cu <sup>2+</sup>	106	107	Cu <sup>2+</sup>	123	122
Ni <sup>2+</sup>	100	101	Ni <sup>2+</sup>	102	117
Ca <sup>2+</sup>	98.3	103	Ca <sup>2+</sup>	100	116
Pb <sup>2+</sup>	99.8	11.1	Pb <sup>2+</sup>	110	125

in real samples. In this study, voltammetric determination of pendimethalin was carried out by a convenient, practical and low-cost technique. In addition, there are no preceding voltammetric studies of pendimethalin with GCE and n-GR/GCE in the literature.

## 5. References

**Bordin, A. B., Minetto, L., do Nascimento Filho, I., Beal, L. L., Moura, S. 2017.** Determination of pesticide residues in whole wheat flour using modified QuEChER Sand LC-MS/MS. *Food Anal. Methods*, 10:1-9. <https://doi.org/10.1007/s12161-016-0542-2>

- de Lima, C. A., Santana, E. R., Piovesan, J. V., Spinelli, A. 2016.** Silver nanoparticle-modified electrode for the determination of nitro compound-containing pesticides. *Anal. Bioanal. Chem.*, 408:2595-2606. <https://doi.org/10.1007/s00216-016-9367-5>
- Fan, Y., Liu, J. H., Lu, H. T., Zhang, Q. 2011.** Electrochemical behavior and voltammetric determination of paracetamol on Nafion/TiO<sub>2</sub>-grapheme modified glassy carbon electrode. *Colloid Surface B*, 85: 289-292. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2011.02.041>
- Filik, H., Çetintaş, G., Koç, S. N., Gülce, H., Boz, İ. 2014.** Nafion-graphene composite film modified glassy carbon electrode for voltammetric determination of p-aminophenol. *Russ. J. Electrochem.*, 50:243-252. <https://doi.org/10.1134/S1023193514030069>
- Galli, A., Caetano, J., Homem-de-Mello, P., da Silva, A. B. F., Ferreira, A. G., de Almeida, S. V., Machado, S. A. S., 2018.** A mechanistic study of the electrochemical behavior of pendimethalin herbicide. *J. Electroanal. Chem.*, 826:157-163. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2018.08.038>
- Galli, A., De Souza, D., Machado, S. A., 2011.** Pendimethalin determination in natural water, baby food and river sediment samples using electroanalytical methods. *Microchem J.*, 98(1):135-143. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2010.12.009>
- Gerent, G. G., Gonçalves, C. Q., da Silva, P. S., Spinelli, A. 2015.** In situ bismuth-film electrode for square-wave cathodic voltammetric detection of pendimethalin at nanomolar level. *Electrochim. Acta*, 168:379-385. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.03.207>
- Koçak, B., Er, E., Çelikkan, H. 2015.** Stripping voltammetric analysis of dicofol on graphene-modified glassy carbon electrode. *Ionics*, 21:2337-2344. <https://doi.org/10.1007/s11581-015-1407-1>
- Kotouček, M., Opravilová, M. 1996.** Voltammetric behaviour of some nitropesticides at the mercury drop electrode. *Anal. Chim. Acta*, 329:73-81. [https://doi.org/10.1016/0003-2670\(96\)00133-X](https://doi.org/10.1016/0003-2670(96)00133-X)
- Laviron, E., Roullier, L., Degrand, C. 1980.** A multilayer model for the study of space distributed redox modified electrodes: Part II. Theory and application of linear potential sweep voltammetry for a simple reaction. *J. Electroanal. Chem. Interf. Electrochem.*, 112:11-23. [https://doi.org/10.1016/S0022-0728\(80\)80003-9](https://doi.org/10.1016/S0022-0728(80)80003-9)
- Li, J., Guo, S., Zhai, Y., Wang, E. 2009.** High-sensitivity determination of lead and cadmium based on the Nafion-graphene composite film. *Anal. Chim. Acta*, 649:196-201. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.07.030>
- Lim, H. H., Park, T. J., Lee, S. H., Shin, H. S. 2017.** Sensitive determination of pendimethalin and dinoseb in environmental water by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Anal. Sci. Technol.*, 30:194-204. <https://doi.org/10.5806/AST.2017.30.4.194>
- Neto, A. C., Guinea, F., Peres, N. M., Novoselov, K. S., Geim, A. K. 2009.** The electronic properties of graphene. *Reviews of modern physics*, 81:109. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.81.109>
- Ni, Y., Wang, L., Kokot, S. 2011.** Simultaneous determination of three herbicides by differential pulse voltammetry and chemometrics. *J. Environ. Sci. Health B*, 46:328-335. <https://doi.org/10.1080/03601234.2011.559888>
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V., Firsov, A. A. 2004.** Electric field effect in atomically thin carbon films. *Sci.*, 306: 666-669. <https://doi.org/10.1126/science.1102896>
- Pavlidis, G., Karasali, H., Tsihrintzis, V. A. 2019.** Development and validation of a simple and efficient method for the determination of pendimethalin and its metabolite M455H001 in soil by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). *Anal. Lett.*, 52:685-696. <https://doi.org/10.1080/00032719.2018.1486849>
- Penetra, A., Vale Cardoso, V., Ferreira, E., Benoliel, M. J. 2010.** Solid-phase extraction and gas chromatography-tandem mass spectrometry method for the simultaneous determination of several pesticides in water. *Water Sci. Technol.*, 62:667-675. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.915>
- Pumera, M., Ambrosi, A., Bonanni, A., Chng, E. L. K., Poh, H. L. 2010.** Graphene for electrochemical sensing and biosensing. *Trends Analyt. Chem.*, 29:954-965. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.05.011>
- Pushpalatha, M., Balaji, K., Kumar, P. C. R., Sridevi, C., Reddy, C. S. 2011.** Electroanalysis of Pendimethalin. *Int. J. Anal. Chem.* 2(10), 1231-1234
- Saha, A., TP, A. S., Banerjee, K., Hingmire, S., Bhaduri, D., Jain, N. K., Utture, S. 2015.** Simultaneous analysis of herbicides pendimethalin, oxyfluorfen, imazethapyr and quizalofop-p-ethyl by LC-MS/MS and safety evaluation of their harvest time residues in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *J. Food Sci. Tech.*, 52:4001-4014. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1473-9>
- Saha, A., Bhaduri, D., Pipariya, A., Jain, N. K., Basak, B. B. 2015.** Behaviour of pendimethalin and oxyfluorfen in peanut field soil: effects on soil biological and biochemical activities. *Chem. ecol.*, 31:550-566. <https://doi.org/10.1080/02757540.2015.1039526>
- Shah, J., Jan, M. R., Ara, B. 2011.** Quantification of pendimethalin in soil and garlic samples by microwave-assisted solvent extraction and HPLC method. *Environ. Monit. Assess.*, 175:103-108. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1496-2>
- Sreedhar, M., Damodar, J., Jyothi, N. V. V., Reddy, S. R. J. 2000.** Polarographic behavior and determination of pendimethalin in formulations, and environmental samples. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 73:2477-2480. <https://doi.org/10.1246/bcsj.73.2477>

- Sun, T., Wang, L., Li, N., Gan, X. 2011.** Label-free electrochemical aptasensor for thrombin detection based on the nafion@ graphene as platform. *Bioprocess Biosyst. Eng.*, 34:1081-1085. <https://doi.org/10.1007/s00449-011-0558-3>.
- Tabanlıgil Calam, T., 2019.** Analytical application of the poly (1H-1, 2, 4-triazole-3-thiol) modified gold electrode for high-sensitive voltammetric determination of catechol in tap and lake water samples. *Chemistry is "Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 99:1298-1312. <https://doi.org/10.1080/03067319.2019.1619716>.
- Tajeu, K. Y., Dongmo, L. M., and Tonle, I. K. 2020.** Fullerene/ MWCNT / Nafion Modified Glassy Carbon Electrode for the Electrochemical Determination of Caffeine. *Am. J. Chem.*, 11(2), 114-127. <https://doi.org/10.4236/ajac.2020.112009>
- Wu, X., Xu, J., Dong, F., Liu, X., Zheng, Y. 2013.** Simultaneous determination of metolachlor, pendimethalin and oxyfluorfen in bulb vegetables using gas chromatography-tandem mass spectrometry. *Anal. Methods*, 5:6389-6394. <https://doi.org/10.1039/c3ay41332B>
- Xue, R., Kang, T. F., Lu, L. P., Cheng, S. Y. 2013.** Electrochemical sensor based on the graphene-nafion matrix for sensitive edetermination of organophosphorus pesticides. *Anal. Lett.*, 46(1), 131-141. <https://doi.org/10.1080/00032719.2012.706852>
- Yang, Q., Ai, X., Li, S., Liu, H., Liu, Y. 2019.** Determination of pendimethalin in water, sediment and *Procambarus clarkia* by high performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry. *Environ. Monit. Assess.*, 191:621. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-779-4>
- Yang, Q., Liu, H., Zou, P., Qi, M., Liu, Y., Ai, X. 2018.** Determination of pendimethalin residues in *Procambarus clarkii* by high performance liquid chromatography-triple quadrupole mass spectrometry. *Se pu= Chin. J. Chromatogr.*, 36:552-556. <https://doi.org/10.3724/sp.j.1123.2018.01008>
- Zhang, T., Qu, Z., Li, B., Yang, Z. 2019.** Simultaneous Determination of Atrazine, Pendimethalin, and Trifluralin in Fish Samples by QuEChERS Extraction Coupled With Gas Chromatography-Electron Capture Detection. *Food Anal. Methods*, 12:1179-1186. 6 <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01449-z>
- Zimdahl, R. L., Catizone, P., Butcher, A. C. 1984.** Degradation of pendimethalin in soil. *Weed Sci.*, 32:408-412. <https://www.jstor.org/stable/4043955>



# Tüketici Elektronik Bileşenleri Kullanılarak Alternatif Bir Raspberry Pi Tabanlı X Işını Görüntüleme Paneli Tasarımı

*An Alternative Design of X-Ray Imaging Panel based on Raspberry Pi with Consumer Electronic Components*

Yalçın İşler\* , Alpman Manalp , Saadet Sena Egeli 

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Balatçık Yerleşkesi, İzmir, Türkiye

## Öz

İnsan gözüyle görülemeyen vücut yapılarının görüntülenmesi için tıbbi görüntüleme yöntemleri geliştirilmiştir. Hastalara tanı konulmasında ve tedavi edilen hastaların takibi için sıklıkla tıbbi görüntüleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu görüntüleme teknikleri arasında x ışını tabanlı cihazlar büyük yer kaplamaktadır. Gelişen teknoloji sayesinde, dijital radyografide hızlı bir şekilde görüntü oluşturmaya olanak sağlayan flat panel detektörler geliştirilmiştir. Bu cihazların yüksek fiyatlı olması nedeniyle düşük gelir düzeyli ülkelerin sağlık çalışmalarında zor ulaşılabılır olmalarına sebep olmaktadır. Üstelik eğitimle veya temel araştırmalarla ilgili çalışmalarda kullanılması tüm ülkelerde zor olmaktadır. Bu çalışmada bir görüntüleme paneli tasarlanmış ve sadece kolay bulunabilir tüketici elektronik bileşenleri kullanılarak ilkel bir prototipi üretilmiştir. Tasarlanan sistemin maliyeti en ucuz ticari alternatifin sadece %0,2'sidir. 70 kV ve 1 mAs değerleriyle hazırlanan deney düzeneğinde, prototipin kemik gibi sert dokularda 0,1mm ve yumuşak dokularda ise 0,5mm hassas görüntü elde edilebildiği görülmüştür. Buna göre, geliştirilen panel ile elde edilen görüntülerin kabul edilebilir çözünürlükte ve kalitededir. Sonuç olarak, geliştirilen tasarım henüz tıbbi amaçlı kullanım için yeterli olmasa bile, en azından eğitim ve temel araştırma amaçlı kullanıma uygun ucuz bir alternatif olmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Tıbbi görüntüleme, Düz panel algılayıcı, X ışınları, Raspberry Pi

## Abstract

Medical imaging is helpful to visualize body structures that cannot be seen with the naked human eye. Medical imaging techniques are often used to diagnose patients and to follow the threatened diseases. Among these imaging techniques, x-ray-based devices have taken a common place. Thanks to the developing technology, flat panel detectors that allow rapid image construction in digital radiography have been developed. Due to their high costs, these detectors are not easily available for health studies in low-income countries. Moreover, it is difficult to use them in studies related to education and basic research in all countries. In this study, an imaging panel was designed and its initial prototype was implemented using readily-available consumer electronics components only. The cost of the proposed system is only 0.2% of the cheapest commercial alternative. This prototype panel can produce accurate images with 0.1mm resolution for bone-like hard tissues and 0.5mm resolution for soft tissues using the experimental setup of 70 kV and 1 mAs. Hence, images obtained with the proposed panel has a moderate resolution and quality. As a result, although the developed design is not sufficient for medical use yet, it is a cheap alternative for educational and basic research purposes at least.


**Keywords:** Medical imaging, Flat panel detector, X-rays, Raspberry Pi

## 1. Giriş

Tıbbi görüntüleme genellikle vücut içerisinde incelenen bir alanın görsel temsillerinin oluşturulmasını sağlayan kritik bir süreçtir (Pisano ve ark. 2009). Görüntüleme

amaç tıbbi müdahale (tedavi) veya teşhis amaçlı olarak organ ve dokuların işlevlerini değerlendirmektir. Ayrıca, teşhis edilen hastalıkların tedavi sürecinin takibinde de sıklıkla görüntüleme tekniklerinden yararlanır. Burada tıbbi bir karar verebilmek için gerekli olan güvenli, kaliteli ve etkili görüntülemenin ne kadar önemli olduğunun fark edilmesinin etkisi büyüktür (Sprawls 2016). Sonuç olarak, tıbbi görüntüleme sağlıkla ilgili çalışmalarda çok önemli bir rol oynamaktadır ve tüm ülkelerde başta görüntüleme

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

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

Alpman Manalp  [orcid.org/0000-0002-7006-6967](https://orcid.org/0000-0002-7006-6967)

Saadet Sena Egeli  [orcid.org/0000-0002-7301-2446](https://orcid.org/0000-0002-7301-2446)



cihazları olmak üzere medikal ekipmanların sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Başlıca görüntüleme yöntemleri konvansiyonel radyografi, floroskopi, anjiyografi, mamografi, bilgisayarlı tomografi (BT), ultrason / dopler, manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ve nükleer görüntülemedir (Pisano ve ark. 2009). Bu görüntüleme teknikleri arasında en yaygın kullanılanı x ışını tabanlı yöntemlerdir. X ışınları, 1895 yılında Alman profesör fizikçi Wilhem Conrad Röntgen tarafından keşfedilmiş ve onun ismiyle adlandırılmışlardır. Bu yöntemin ilk yıllarında, gümüş halid (AgH) emülsiyonları ve diğer koruyucu katmanlardan oluşan filmler kullanılmaktaydı (Das 2009). Zaman içerisinde görüntüler film yerine dijital ortamda oluşturulmaya başlandı ve dijital radyografi adını aldı. Dijital radyografide x ışınlarını saptayabilmek ve görüntü oluşturmak için flat panel detektörler kullanılır. Bu detektörler x ışınına maruz kaldığında bir yük modeli oluşturan bağımsız piksellerden oluşur (Lanier 2012) ve oluşan model daha sonra bir bilgisayar tarafından görüntü oluşturmak için okunur (Kotter ve Langer 2002). Bu panellerin genel radyografi uygulamaları, mamografi, floroskopi ve veterinerlik uygulamaları için tıbbi görüntüleme farklı uygulamaları bulunmaktadır.

Flat paneller tıbbi görüntüleme uygulamalarında temel ürün niteliğindedir. Piyasada, farklı uygulama alanları için mevcut panel detektörlerin fiyatları 8000 US\$'e 45000 US\$ arasında değişmektedir. Sağlık uygulamalarında zorunlu olan bu cihaz radyografi eğitimi veren kurumların laboratuvarlarında da bulunması gereklidirler. Ancak, özellikle eğitimlerde ve temel araştırmalarda kullanılmak üzere, düşük maliyetli ve yüksek kaliteli bir görüntüleme paneli bulma sorunu vardır. Bu çalışmada, piyasada kolayca bulunabilecek elektronik devre elemanları ve genel amaçlı bir mikro denetleyici kartı olan Raspberry Pi kullanılarak x ışını tabanlı görüntü oluşturmada kullanılacak düşük maliyetli ve kabul edilebilir kalitede bir görüntüleme paneli tasarımı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda geliştirilen ilkel prototip ürün, ticari bir ürün olmaktan henüz uzak olmakla birlikte, en azından eğitim amaçlı kullanılabilir düzeydedir.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Gereç

Görüntüleme sistemleri, ışın kaynağı, görüntülenecek nesne ve detektör olmak üzere üç bileşene sahiptir (Perkinelmer 2013). Bu çalışmanın kapsamında sadece görüntüleme

cihazını bulunduğu için çalışmada x ışını kaynağı olarak Mecaserto Axim II Radyasyon Tedavisi Simülatörü kullanılmıştır. Tasarlanan görüntüleme cihazının üç ana bileşeni vardır; tek kartlı bilgisayar, fotoğraf dönüştürücü ekran ve kamera.

**Tek Kartlı Bilgisayar:** Bu çalışmada, Raspberry Pi, küçük boyutlu tek kartlı bir bilgisayar, cihaz için bir bilgisayar olarak seçilmiştir. Bu bilgisayarda 1.2 Gigahertz 64bit ARM Cortex Merkezi İşlemci Birimi (CPU) ve 800MT / s veri aktarım hızına sahip bir mobil tip çift veri hızı senkron DRAM (LPDDR) içeren 1 Gigabyte sistem belleği vardır. Depolama olarak kullanılan Yüksek Kapasiteli Güvenli Dijital (SDHC), çıplak sistemin güç tüketimi 800 mAdır (4 Watt). Kamerayı doğrudan CPU'ya bağlamak için bir kamera seri arayüzü (CSI) vardır. Raspberry Pi kartı gelişmiş özellikleri nedeniyle son yıllarda DICOM görüntüleyici (Paiva ve Moreira 2014), radyoloji eğitimi (Pereira ve ark. 2015) ve sensör geliştirme (Tivnan ve ark. 2015) gibi medikal uygulamalarda da kullanılmaya başlanmıştır.

**Fotoğraf Dönüştürücü Ekran:** Daha önce de belirtildiği gibi, bazı görüntüleme sistemlerinde x ışınları tespit için görünür ışığa dönüştürülür. Yine bu çalışmada, ışınlarını görünür ışığa dönüştürmek için bir sintilatör olarak polikristal gadolinyum malzeme kullanan Toshiba FU serisinden bir sintilasyon tabakası kullanılmıştır. Maksimum emisyon dalga boyu, görünür ışık aralığında ve kameranın yakalama aralığında 512 nanometredir.

**Kamera:** Seçilen kamera 1/4 "CMOS OmniVision OV5647 görüntü sensörüne sahiptir ve 5 megapiksel fotoğraf görüntüleri sunar ve tam çerçeve 10 bitlik Ham RGB görüntü sağlar, bu özellikler sistem kamerasını tıbbi görüntüleme kameralarındaki görüntüleme sensörlerinin çoğundan daha yetenekli hale getirir. Saniyede 1 Gigabit (Gbps) geniş bant iletim hızına sahip kamera seri arayüzü ile tek kartlı bilgisayara bağlandı. Sinyal-Gürültü (S / N) oranı 36dB, dinamik aralık 8x kazançta 67dB, hassasiyet 680mV / lux.sec ve karanlık akım 60 ° C'de 16mV / sn'dir, karanlık akım 16mV / sn kadar düşüktür.

**Ek Malzemeler:** Bu ana bileşenlere ek olarak sistemi tutmak ve karanlık bir ortam sağlamak için kontrplak malzemeden bir kutu tasarlanmış ve yansımaları engellemek için siyah kapak ile kaplanmış. Kurşun cam da sisteme eklenmiş ve bu sayede hem radyasyon korunması hem de camın şeffaflığı ile kolay bir gözlem süreci hedeflenmiştir. Kamera ve bilgisayarın radyasyona maruz kalması görüntüde kusurlara yol açabileceği için bunu önlemek için 1,4 cm

kalınlığında kurşun cam tercih edilmiştir. Hesaplamalara göre bu kalınlıktaki bir cam 140 kV enerjili x ışınlarını zayıflatmak için yeterlidir. Görünür ışığın sisteme ulaşmasını engellemek ve fotoğraf dönüştürücü ekranı korumak için fiber tabaka kullanılmıştır. Sisteme eklenen WIFI ile erişilebilir bir bağlantı noktası olmadan da cihazın kablosuz çalıştırılmasına olanak sağlamıştır.

## 2.2. Histogram Eşitleme Algoritması

Elde edilen ham kamera görüntüleri genellikle grinin bir tonuna doğru toplanmakta ve içindeki bilgiyi anlamlı hale getirmek zor olmaktadır. Bu nedenle literatürde sık kullanılan histogram eşitleme yöntemi kullanılarak görüntü grinin tonlarına dağıtılarak görüntü keskinliği artırılmaktadır (Braeuning ve Pizer 1998; Jin ve ark. 2001). Histogram eşitleme algoritması şu şekildedir (Gonzalez ve Woods 2017):

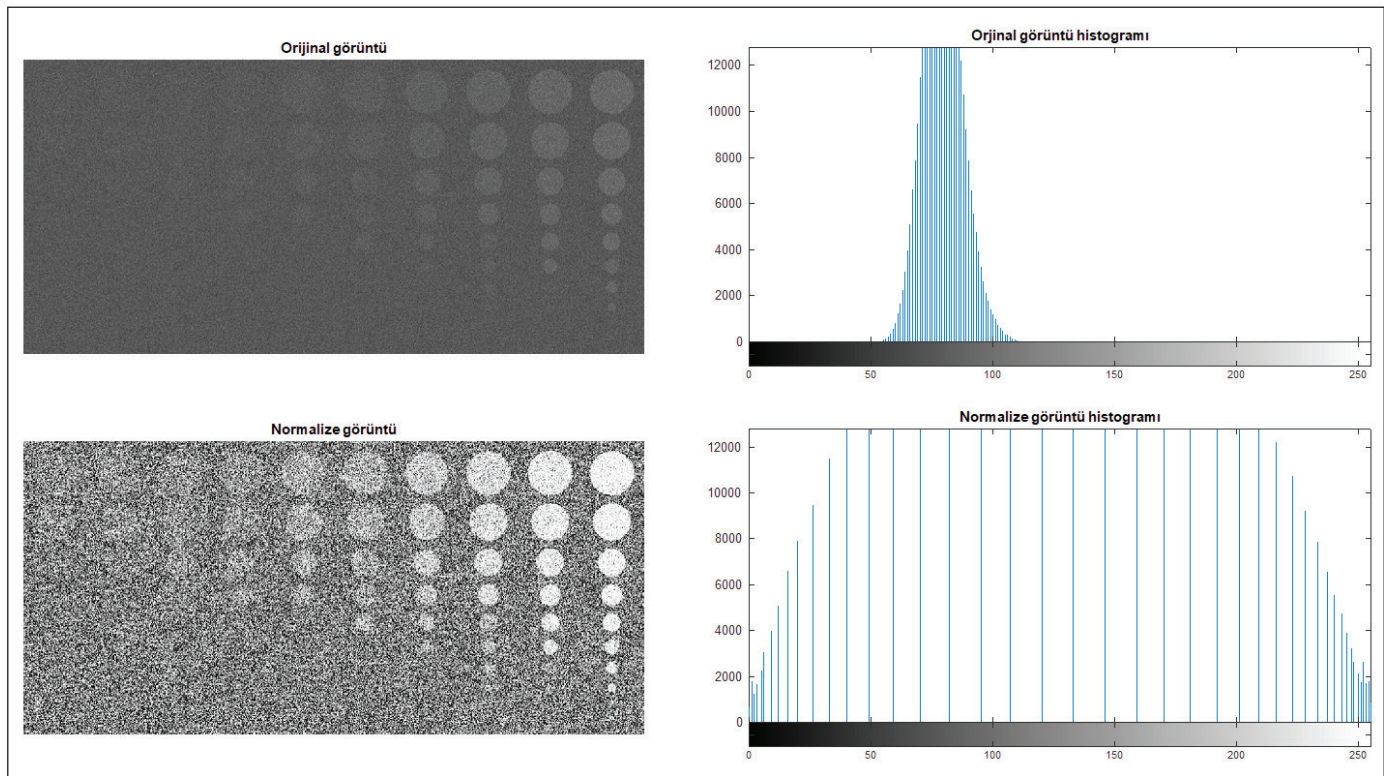
1. Resmin gri seviye histogramı hesaplanır. Bunun için her gri seviyeden resimde kaç tane olduğu (frekans değerleri) tablo halinde yazılır.
2. Daha sonra her gri seviyeye ait eklemeli frekans değerleri hesaplanır. Yani, her gri seviyenin kendisi dahil daha açık tonlardaki frekans değerlerinin toplamı tabloya eklenir.

3. Her satırdaki toplamalı frekans değerleri toplam piksel sayısına bölünerek normalize edilir.
4. Bir önceki adımda elde edilen normalize değerleri oluşturulacak yeni resim en yüksek gri seviye değerinin 1 eksiği ile çarpılıp en yakın tam sayıya yuvarlanır. Böylece orijinal resimdeki her gri seviyenin karşılığı olacak yeni gri seviye değerleri bulunmuş olur.
5. Yeni gri değerlere karşılık gelen resim ekrana çizdirilir.

Örneğin, orijinal bir dijital röntgen görüntüsü ve histogram eşitleme algoritması uygulandıktan sonra oluşan görüntü ile bu iki görüntüye ait histogramlar aşağıda görülmektedir (Şekil 1). Orijinal görüntüdeki gri seviyeler 55 ile 110 arasında yoğunlaşırken normalize edilmiş görüntüde gri seviyeler 0 ile 255 arasına (256 farklı gri seviye) yayılmıştır. Böylece normalize görüntüdeki fantom oyukların yerleri daha belirgin olarak görülebilir hale gelmektedir.

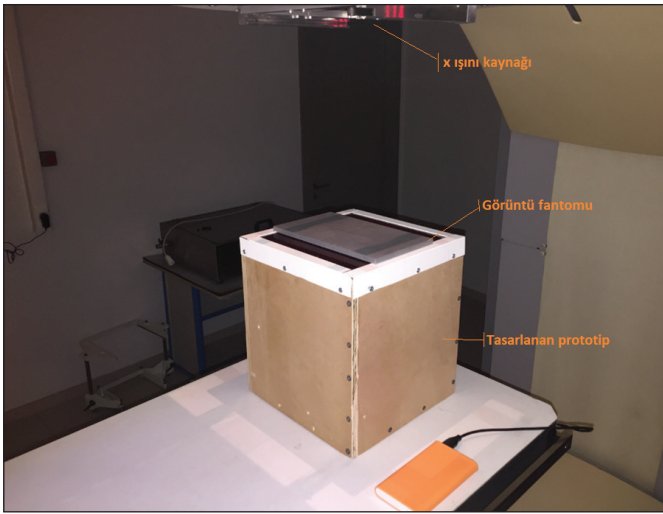
## 2.3. Deney Düzenegi Kurulumu

Sistem montajının ilk aşaması, malzeme temininden sonra, Raspberry Pi donanımını kurmaktır. Raspberry Pi, tasarımların ihtiyaçlarına göre farklı sistemlerde çalıştırılabilir, bu çalışmada Raspbian sistemi seçilmiştir, resmi ve açık kay-



**Şekil 1.** Histogram eşitleme algoritmasının çalışması. Üstte orijinal röntgen görüntüsü ile histogramı ve altta ise histogram eşitleme algoritması sonrası elde edilen görüntü ile histogramı görülmektedir.

naklı bir sistemdir ve donanım düzeyinde görüntü yakalama ve işlem uygulamaları için uygundur. Sistem Raspberry Pi'nin resmi web sitesinden indirildikten sonra, 5 Volt güç kaynağı, klavye, fare, monitör ve Pi kamera tek kartlı bilgisayara bağlanmıştır. Ölçümlerimiz, kameranın 22 cm mesafeden 23 cm genişliğinde görüntüler çektiğini gösterdiğinden kutu boyutları 23cmx23cmx23cm olarak ayarlanmıştır. USB donanım kilidinin kurulması ve ayarlanmasının ardından uzaktan kontrol etkinleştirir, böylece monitör, klavye ve fare fişten çekilir. Son olarak, kurşun cam kutunun üstüne yerleştirilir (Şekil 2).



Şekil 2. Geliştirilen ilkel prototipin görüntüsü.

Sistemi test etmek için yazdırılan 7x7 kare desen camın üzerine yerleştirilip görüntü alınır, alınan bu görüntü orijinal desenle karşılaştırılıp cam ve mercek bozulmaları saptanır. Tasarlanan sistemin yapısını tamamlamak için sisteme foto dönüştürücü ekran ve fiber levha sisteme yerleştirilmiştir, ayrıca hareketlilik sağlamak için bir güç bankası da eklenmiştir. Kurulumun tamamlanmasından sonra, kalibrasyon fantomları ile görüntüler çekilmiştir. Kalibrasyon fantomları, görüntüleme cihazlarının kalitesini test etmek ve görüntülenen vücut parçalarının daha doğru temsillerini sağlamak için kullanılan araçlardır.

### 3. Sonuçlar

Tasarlanan görüntüleme sisteminin prototipi Türkiye'de mevcut olan vergiler dahil sadece 60,98 US\$ değerindedir. Malzeme listesinin tablosu Çizelge 1'de verilmiştir.

Kalibrasyon fantomları görüntü yakalamasının başarısını ölçmek için kullanılır. Kalibrasyon fantomu, satırlarda 10 farklı çapa ve sütunlarda 10 farklı derinliğe sahip deliklere

**Çizelge 1.** Vergilerin (Türkiye'de %18) dahil olduğu malzeme listesi.

Seviye	Tutar (US \$)
Raspberry Pi Model B+	16,13
Raspberry Pi Kamera V1.3 (Kablo dahil)	14,52
Sd Kart 8GB	8,06
USB Wifi	4,84
Kontrplak 1m×1m	6,45
Kurşun Cam	3,23
Yoğunlaştırıcı Ekran	3,23
Siyah Karon	1,29
Fiber Tabaka ve Köşe Profili	3,23
<b>Prototipin Toplam Maliyeti</b>	<b>60,98</b>

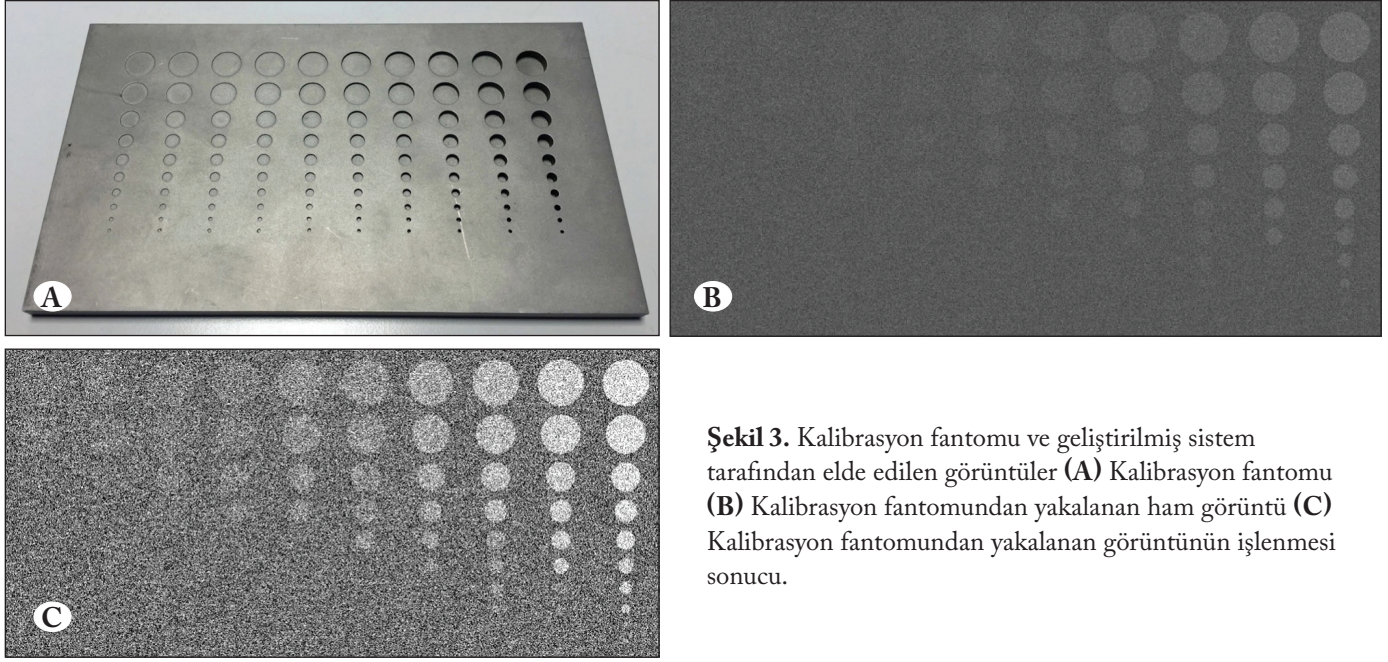
sahip 12 mm kalınlığında alüminyum bloktur. Fantomun fotoğrafı Şekil 3A'da gösterilmektedir. Fantom üzerindeki oyukların soldan sağa doğru 0,1mm'den 1,0mm derinliğe ve yukarıdan aşağıya doğru ise 1,0cm'den 1,0mm çapına sahip daireler şeklinde oluşturulduğu görülmektedir. Derinliği fazla olan oyuklar gerçek vücuttaki yumuşak dokulara ve az olanlar ise vücuttaki kemik gibi sert dokulara karşılık gelmektedir. Bu çalışmada önerilen sistemle elde edilen kalibrasyon fantomunun ham görüntüsü Şekil 3B'de gösterilmektedir. Bu görüntüde fantom üzerindeki delikler görülebilmektedir. Son olarak, histogram eşitleme algoritması ham görüntü üzerinde kullanılır. Bu işlemin sonucunda elde edilen nihai görüntü Şekil 3C görülmektedir.

Tasarlanan sistem piyasada bulunan iki sistemle sadece ham görüntüler üzerinden karşılaştırıldı. Bu iki ticari sistem dijital x ışını detektör dizisi ve görüntü yoğunlaştırıcı sistemdir. Birinci sistem, amorf silikon sensör bazlı iki boyutlu bir dizi olan Perkin Elmer XRD 1640 dijital x ışını detektörüdür. Panel, 1024x1024 piksel çözünürlük ile 16 bit dijitalleştirme gerçekleştirebilir. Bu panel tıbbi uygulamalar için tasarlanmıştır ve özel bir PCI kartı ve görüntüleri yakalamak için bir programa sahiptir (Perkinelmer 2013). Bu sistem de önceden bahsedilen aynı kalibrasyon fantomu ile test edilmiştir (Şekil 4A). Diğer yandan, görüntü yoğunlaştırıcı sistem, yoğunlaştırıcı tüp ve kameradan oluşur. Kontrol edilebilecek alanın çapı 22 cm'dir. Dijital görüntü çıkışı yoktur, bu nedenle sonuç görüntüsü ekrandan fotoğraf çekilerek yakalanabilir (Şekil 4B). Görüntü yoğunlaştırıcı tüpün neden olduğu görüntü bozulmaları fotoğraf üzerinde kolayca görülebilir. Son olarak, bu çalışma ile önerilen panel dedektör kullanılarak aynı görüntü elde edilmeye çalışılmıştır (Şekil 4C). Bu görüntüde ham görüntü verilmiş olup, histogram eşitleme

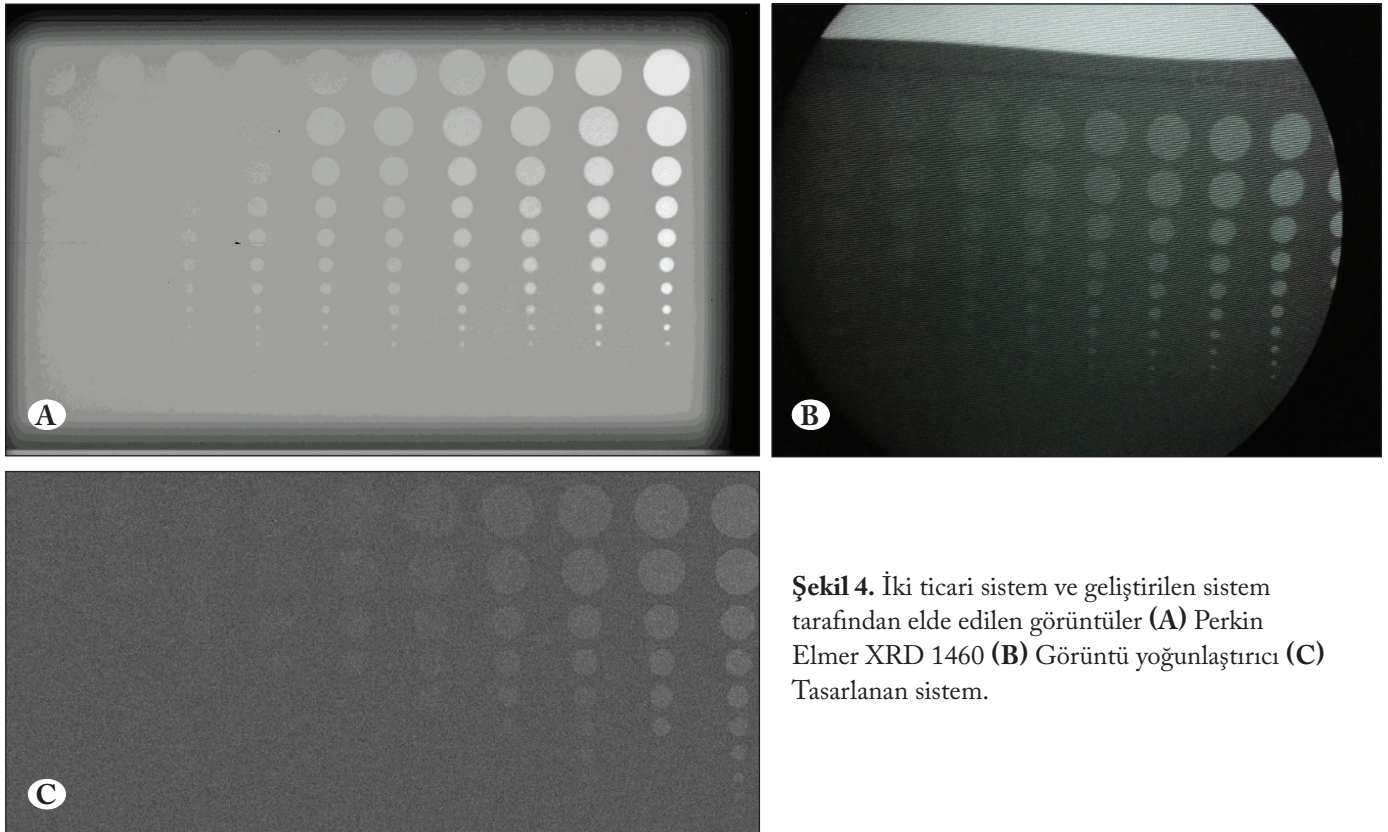


algoritmasından elde edilen görüntü verilmemiştir. Böylece cihazların yazılım tabanlı düzeltmeler uygulanmadan önceki doğrudan fiziksel yetenekleri ile elde ettikleri görüntüler üzerinden karşılaştırılmaları amaçlanmıştır.

Bu test sonucu görüntülerin tamamı, sırasıyla Perkin Elmer detektörü, görüntü yoğunlaştırıcı ve tasarlanan sistem kullanılarak 70 kV ve 1 mA'lık deney düzeneği kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 4). Kalibrasyon görüntü fantomuna



**Şekil 3.** Kalibrasyon fantomu ve geliştirilmiş sistem tarafından elde edilen görüntüler (A) Kalibrasyon fantomu (B) Kalibrasyon fantomundan yakalanan ham görüntü (C) Kalibrasyon fantomundan yakalanan görüntünün işlenmesi sonucu.



**Şekil 4.** İki ticari sistem ve geliştirilen sistem tarafından elde edilen görüntüler (A) Perkin Elmer XRD 1460 (B) Görüntü yoğunlaştırıcı (C) Tasarlanan sistem.

göre, geliştirilen sistemin 0,5mm yumuşak doku kalınlığı değişikliklerini veya eşdeğer yoğunluk değişikliklerini, görüntü yoğunlaştırıcı sisteminin 0,3mm ve Perkin Elmer flat panel sisteminin ise 0,1mm detaya kadar görüntüleme yeteneğine sahip olduğu görülmektedir. Test edilen tüm sistemlerin ise kemik gibi sert dokularda 0,1 mm'ye kadar tüm düzensizlikleri tespit edebildiği görülmektedir.

#### 4. Tartışma

Bu çalışmada sadece tüketici elektroniği bileşenleri kullanılarak bir görüntüleme paneli tasarlanmış ve basit bir prototipi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen prototip ve piyasada bulunan iki farklı ticari görüntüleme paneliyle fantom testleri gerçekleştirilmiş ve görüntü kaliteleri karşılaştırılmıştır. 70 kV ve 1 mAs değerleriyle hazırlanan deney düzeneğinde prototipin kemik gibi sert dokularda 0,1 milimetre, yumuşak doku için ise 0,5 milimetreye kadar doku düzensizliklerini algılayabildiği görülmüştür. Bu değerler ile geliştirilen prototipin mevcut ticari alternatiflerine yakın görüntü kalitesi sunduğunu göstermektedir ve çalışmanın amaçlandığı gibi tıbbi görüntüleme için umut vaat edici olduğu görülmektedir.

Mevcut görüntüleme panellerinin özellikle düşük gelirli ülkeler için erişilebilir olmadığı göz önüne alındığında, tasarlanan sistemin yaklaşık 60,98 US\$ maliyetinin alternatif bir çözüm olabileceğini göstermektedir. Prototipin geliştirilmesinde kullanılan Raspberry Pi kartı sayesinde, geliştirilen prototip hem taşınabilir hem de 1000 hastaya kadar görüntü verilerini içinde saklayabilmektedir.

Bu çalışmada sunulan ilkel prototipin ticari ürün kimliğine kavuşabilmesi için biraz daha geliştirilmesine ve ürün testlerine tabi tutulmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Öte yandan, mevcut haliyle özellikle eğitim ve temel araştırmalarda kullanılabilir kalitede olduğu ve medikal ürün olarak geliştirilme potansiyeli bulunmaktadır.

#### 5. Kaynaklar

- Braeuning, M.P., Pizer, S.M. 1998.** Contrast limited adaptive histogram equalization image processing to improve the detection of simulated spiculations in dense mammograms. *J Digit Imaging* 11: 193-200. <https://doi.org/10.1007/bf03178082>
- Das, I. 2009.** Radiographic film. Book Chapter 26 in *Clinical Dosimetry Measurements in Radiotherapy*.
- Gonzalez, R.C., Woods, R.E. 2017.** *Digital Image Processing*. 4.baskı, Pearson Publisher.
- Jin, Y., Fayad, L.M., Laine, A.F. 2001.** Contrast enhancement by multiscale adaptive histogram equalization. in *Proceedings of the International Symposium on Optical Science and Technology*, 206-213. <https://doi.org/10.7916/D8QZ2M29>
- Kotter, E., and Langer, M. 2002.** Digital radiography with large-area flat-panel detectors. *European Radiology* 12, 2562-2570. <https://doi.org/10.1007/s00330-002-1350-1>
- Lanier, R.G. 2012.** Recent developments in x-ray imaging technology. Lawrence Livermore Natl. Lab. (LLNL), Livermore, CA, 2012, no. LLNL-TR-587512. <https://doi.org/e-reports-ext.llnl.gov/pdf/658363.pdf>
- Paiva, O.A., Moreira, R.O. 2014.** Raspberry PI: a 35-dollar device for viewing DICOM images. *Radiol Bras* 47: 99-100. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-39842014000200012>
- Pereira, A., Atri, M., Rogalla, P., Huynh, T., O'Malley, M.E. 2015.** Assessment of feasibility of running RSNA's MIRC on a Raspberry PI: a cost-effective solution for teaching files in radiology. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 10: 1793-1801. <https://doi.org/10.1007/s11548-014-1143-4>
- Perkinelmer. 2013.** Product note: XRD 1642 AP flat panel x-ray detector. <https://www.vareximaging.com/sites/default/files/datasheets/vic/XRD%201642.pdf>
- Pisano, E.D., Zong, S., Hemminger, B.M., DeLuca, M., Johnston, R.E., Muller, K., Sprawls, P. 2016.** Image characteristics and quality. Book Chapter in *The Physical Principles of Medical Imaging*, 2. Baskı, Medical Physics Publishing.
- Tivnan, M., Gurjar, R., Wolf, D.E., Vishwanath, K. 2015.** High frequency sampling of TTL pulses on a Raspberry PI for diffuse correlation spectroscopy applications. *Sensors (Basel)* 15: 19709-19722. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fs150819709>





## 38 Atomlu Ni-Pt-Cu Üçlü Nanoalaşımalarının Yapısal ve Dinamik Özellikleri

### *Structural and Dynamic Properties of 38-atom Ni-Pt-Cu Ternary Nanoalloys*

Hüseyin Yıldırım<sup>1\*</sup>, Haydar Arslan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Yenice Meslek Yüksekokulu, Karabük, Türkiye

<sup>2</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Zonguldak, Türkiye

### Öz

Bu çalışmada,  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) üçlü nanoalaşımaların global optimizasyonları atomlar arası etkileşmeler Gupta çok cisim potansiyeli ile modellenerek ve Basın-Hopping algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nanoalaşımaların kararlılığı fazlalık enerji analizi ve bağ sayısı analizi ile incelenmiştir. Optimizasyon sonucunda elde edilen tüm kompozisyonların global minimum yapıları, Moleküler Dinamik (MD) simülasyonlarında başlangıç konfigürasyonları olarak alınmıştır.  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) üçlü nanoalaşımalarının erime sıcaklıkları Kanonik topluluk (NVT) koşullarında MD simülasyonları ile incelenmiştir. Erime geçişlerini belirlemek için kalorik eğri ve Lindemann kriteri kullanılmıştır.  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) üçlü nanoalaşımaların MD simülasyonları sonucunda erime sıcaklıklarının kompozisyona bağlı olarak dalgalanmalar gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, erime sürecinde optimizasyon sonucunda elde edilen en kararlı kompozisyonların dinamik davranışları Bağ-Açı analizi (BAA) ve kare ortalama yer değiştirmelerin karekökü (RMSD) gibi farklı analiz yöntemleri ile incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bakır, Erime sıcaklığı, Nikel, Optimizasyon, Platin

### Abstract

In this study, global optimizations of  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) ternary nanoalloys were performed by modelling interatomic interactions with Gupta many-body potential and by Basın Hopping algorithm. Stability of nanoalloys were investigated with the excess energy analysis and bond number analysis. The global minimum structures of all compositions obtained as a result of optimization were taken as the initial configurations in Molecular Dynamics (MD) simulations. Melting temperatures of  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) ternary nanoalloys were investigated with the MD simulations in canonical ensemble conditions (NVT). Caloric curve and Lindemann index were used to determine the melting transitions. As a result of MD simulations of  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) ternary nanoalloys, it was determined that the melting temperatures fluctuate depending on the composition. Also, dynamic behaviours of the most stable composition obtained as a result of optimization in melting process investigated by different analysis method such as Bond-angle analysis (BAA) and root mean square displacement (RMSD).

**Keywords:** Copper, Melting temperature, Nickel, Optimization, Platinum

### 1. Giriş

Nanoalaşımaların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin, nanoalaşımaların kompozisyonunun nanoalaşımaları oluşturan atomların türüne bağlı olarak değişmesi, nanoalaşımaların katalizör, optik, elektronik cihazlar, manyetik veri depolama, sensörler ve yakıt hücreleri gibi uygulamalarda kullanımını artırmaktadır (Taran vd. 2020, Wilson ve Johnston 2002). Özellikle geleneksel fosil yakıtların artan tüketiminin neden

olduğu enerji krizi ve çevre kirliliği nedeniyle yakıt hücreleri gibi çevre dostu, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi büyük ilgi görmektedir (Xia vd. 2019, Wu vd. 2020, Zheng 2017, Yousaf vd. 2018). Bir yakıt hücresinin performansı, yakıt hücresindeki temel bileşen olan elektrokatalizörün verimliliğine ve düşük maliyetine bağlıdır. (Noh vd. 2015, Cao vd. 2014). Yakıt hücreleri için en etkili elektrokatalizörler, mükemmel reaktiviteleri ve kararlılıkları nedeniyle Platin (Pt) bazlı katalizörlerdir. Birçok çalışma, Pt bazlı nanoalaşımaların, oksijen indirgeme reaksiyonu, metanol oksidasyon reaksiyonu ve etilen glikol oksidasyon reaksiyonu gibi yakıt hücrelerinin önemli reaksiyonlarında iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır (Noh vd.

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

Hüseyin Yıldırım [orcid.org/0000-0002-8554-3885](https://orcid.org/0000-0002-8554-3885)

Haydar Arslan [orcid.org/0000-0002-6624-9314](https://orcid.org/0000-0002-6624-9314)

2015, Zhang vd. 2017, Lan vd. 2019, Hong vd. 2015, Tao vd. 2017).

Pt bazlı katalizörlerin yakıt hücrelerinde yüksek katalitik aktiviteye sahip olmalarına rağmen, Pt rezervlerinin sınırlı ve pahalı olması Pt bazlı katalizörlerin yaygın kullanımını engellemektedir (Zheng 2017, Tao vd. 2017). Bu nedenle, Pt bazlı katalizörlerin maliyetini düşürmek için, pahalı bir metal olan Pt'nin katalizörlerde kullanımını azaltılarak Pt bazlı ikili (Cuevas-Muniz vd. 2015, Carpenter vd. 2012, Zhang vd. 2015, Deng vd. 2010, Herault vd. 2016, Chaves vd. 2015) ve üçlü (Hong vd. 2015, Magalhaes ve Colmati 2017, Wang vd. 2015, Fu vd. 2015, Kang vd. 2016, Mao vd. 2015, Zhang vd. 2015) nanokatalizörler yoğun bir şekilde incelenmektedir. Özellikle, Pt'nin ucuz 3d geçiş metalleriyle (Fe, Co, Cu, Ni, vb.) alaşımlanması, yüksek performanslı ve düşük maliyetli elektrokatalizörlerin sentezlenmesi için yaygın olarak benimsenen bir yaklaşımdır (Wu vd. 2020, Cao vd. 2019). Bu çerçevede yapılan bazı deneysel çalışmaların sonuçları, Ni-Pt-Cu üçlü nanoalaşım katalizörlerinin yakıt hücreleri için mükemmel elektrokatalizörler olduğunu göstermiştir (Cao vd. 2019, Park vd. 2020).

Bu çalışmada, Ni-Pt-Cu nanoalaşımının yapısal ve dinamik özellikleri hakkında yeterli literatür bilgisi olmadığı için,  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) üçlü nanoalaşımının yapısal ve dinamik özellikleri incelenmiştir. 38 atomlu bir nanoalaşımı seçmemizin nedeni, 38'in çoklu ikosahedron geometriye sahip olmasıdır (Yıldırım ve Arslan 2020). Çoklu ikosahedron yapılar, 13 atomu iç içe geçmiş temel ikosahedronlardan oluşmaktadır ve bazı atomlarını birbirleriyle paylaşmaktadırlar. Çoklu ikosahedron yapılar, temel ikosahedronun merkezindeki atom ikosahedron atomu olarak tanımlanarak, kaç adet ikosahedron atomu içerdiğine göre sınıflandırılmaktadır. Örneğin 38 atomlu çoklu ikosahedron yapı, 6 adet iç içe geçmiş temel ikosahedron içermektedir ve altı katlı simetrik (sixfold) çoklu ikosahedron yapı olarak adlandırılmaktadır. 13, 23, 26, 38, 55... gibi sihirli sayıda atomdan oluşan ikosahedron (Ih) geometriye sahip nanoalaşımın sıkı istiflenmiş bir yüzeye sahiptirler ve önemli yapısal ve elektronik kararlılık sergilerler (Yıldırım ve Arslan 2019, Taran 2019). Ayrıca, 100'den az atom içeren nanoalaşımın büyüklük ve kompozisyona bağlı olarak daha karmaşık erime davranışları sergilerler (Yıldırım ve Arslan 2020).

Özetle, bu çalışmada  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımında kompozisyon ve erime sıcaklığı arasındaki ilişki ve global optimizasyon sonucu elde edilen en kararlı kompozisyonun erime sürecindeki yapısal değişimleri incelenmiştir.

Global optimizasyon, bir nanoalaşımın en düşük enerjiye ve en kararlı kimyasal düzene sahip global minimum geometrisini tahmin edebilmektedir ve Gupta potansiyeli gibi yarı deneysel modellerle çok uyumludur (Ferrando vd. 2008). Ni-Pt-Cu nanoalaşımının yapısal ve dinamik özelliklerini anlamak, mevcut ve gelecekteki teknolojik uygulamalar için yeni fırsatlar sağlamaya katkıda bulunması beklenmektedir.

## 2. Gereç ve Yöntem

$Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) üçlü nanoalaşımının en kararlı kimyasal düzene sahip olan global minimum yapıları Basin-Hopping algoritması (Wales ve Doye 1997, Goh vd. 2017) kullanılarak GMIN programı (Gould vd. 2014, Fundora-Galano ve Orgaz 2018) ile elde edilmiştir.  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımında Ni, Pt ve Cu atomları arasındaki etkileşimler Gupta çok-cisim potansiyeli (Cleri ve Rosato 1993, Gupta 1981) ile modellenmiştir ve Gupta parametreleri Tablo 1'de verilmiştir (Taran vd. 2020, Yang vd. 2020, Wu vd. 2017). Ni-Cu etkileşim parametreleri daha önce Gupta potansiyeli için türetilmediği için Ni-Ni ve Cu-Cu saf metal Gupta potansiyel parametrelerinin ortalaması alınarak elde edilmiştir. (Bruma vd. 2013, Arslan vd. 2015).  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının optimizasyonu sonucunda elde edilen global minimum yapıları MD simülasyonları için başlangıç konfigürasyonları olarak alınmıştır ve nanoalaşımın erime sıcaklıkları kompozisyona bağlı olarak elde edilmiştir.  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının erime davranışları herhangi bir periyodik sınır koşulu olmaksızın, Kanonik Moleküler Dinamik Simülasyon Yöntemi ile DL-POLY MD simülasyon paketi (Todorov vd. 2006, Bush vd. 2006) kullanılarak incelenmiştir. Sistem sıcaklığı, küçük sayıda atomdan oluşan nanoalaşım için uygun olan 1.0 ps'lik gevşeme süresi ile Andersen termostatı ile kontrol edilmiştir. Newton hareket denklemleri, 5 fs zaman adımı Velocity Verlet algoritması kullanılarak 400000 adımda integre edilmiştir. Her bir nanoalaşım, global minimum yapısından (0 K) başlanarak 1300 K'e kadar 5K sıcaklık artışıyla ısıtılmıştır. Bu simülasyon kurgusu 2.6 K/ns ısıtma oranına karşılık gelmektedir. 2.6 K/ns'lik ısıtma oranı için dengeleme simülasyonları 100 ps, zaman ortalama özelliklerinin üretim süresi için 1900 ps uygulanmıştır.  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının erime sıcaklıkları kalorik eğri ve Lindemann kriteri ile analiz edilmiştir. Optimizasyon sonucunda, fazlalık enerji (excess energy) analizi ve bağ sayısı analizi ile bulunan en kararlı kompozisyonun erime sürecindeki yapısal değişimleri incelenmiştir.

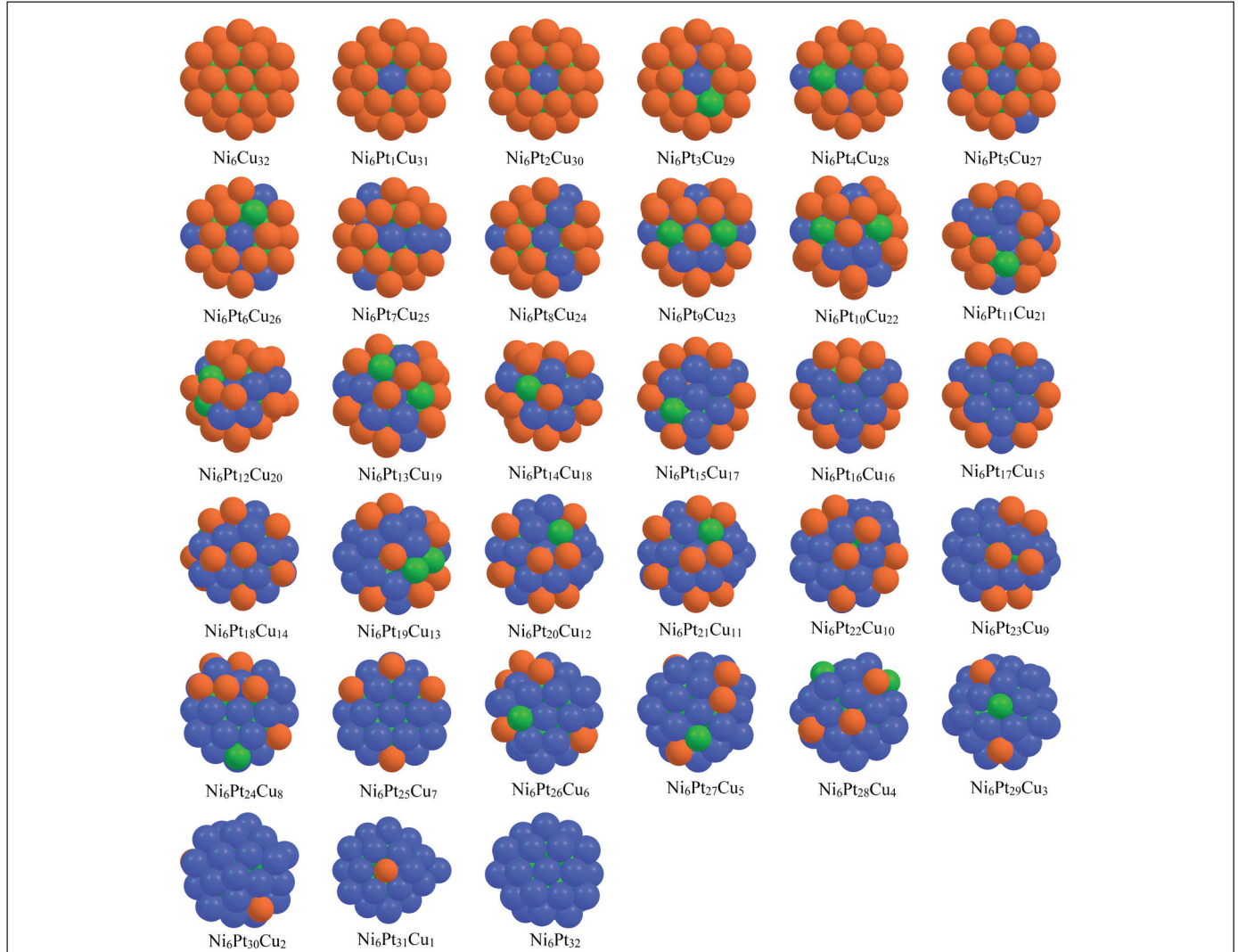
### 3. Bulgular

$\text{Ni}_6\text{Pt}_n\text{Cu}_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) üçlü nanoalaşımının optimizasyonları, nikel atomlarının sayısı 6'da sabitlenerek, platin ve bakır atomlarının toplam sayısı 32 olacak şekilde atom sayıları değiştirilerek Basın-Hopping algoritması kullanılarak

gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sonucunda  $\text{Ni}_6\text{Pt}_n\text{Cu}_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) üçlü nanoalaşımının her kompozisyonu için en düşük enerjiye sahip global minimum yapıları çoğunlukla 1h geometride elde edilmiştir ve Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de Ni, Pt ve Cu atomları sırasıyla yeşil, mavi ve kırmızı küreler ile gösterilmiştir.

**Çizelge 1.** Ni-Pt-Cu üçlü nanoalaşımının Gupta potansiyel parametreleri

	A (eV)	p	q	$\xi$ (eV)	$r_0$ (Å)
Ni-Ni	0.0958	11.340	2.2700	1.5624	2.4910
Ni-Pt	0.1688	10.976	3.1352	2.0520	2.6325
Ni-Cu	0.0906	11.150	2.2740	1.3932	2.5236
Pt-Pt	0.2975	10.612	4.0040	2.6950	2.7747
Pt-Cu	0.1600	10.786	3.1410	1.8200	2.6660
Cu-Cu	0.0855	10.960	2.2780	1.2240	2.5562



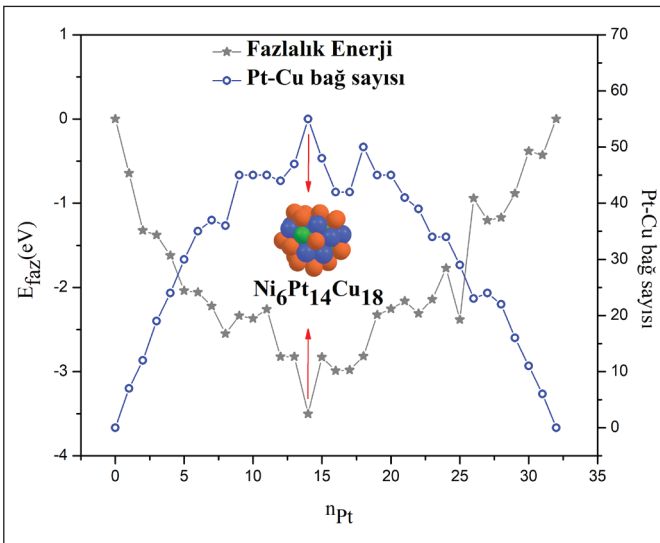
**Şekil 1.**  $\text{Ni}_6\text{Pt}_n\text{Cu}_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının optimizasyon sonucunda elde edilen global minimum geometrileri.

Fazlalık enerji analizi, nanoalaşımın kompozisyona göre kararlılığını araştırmak için global minimum enerjileri kullanan faydalı bir analiz yöntemidir. Geometri optimizasyonları sonucunda elde edilen 38 atomlu  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) üçlü metal nanoalaşım için fazlalık enerji hesabı ( $E_{faz}$ ) Eşitlik (1) ile tanımlanmaktadır (Yıldırım ve Arslan 2020, Wu vd. 2015).

$$E_{faz} = E(Ni_6Pt_nCu_{32-n}) - n \frac{E(Ni_6Pt_{32})}{32} - (32 - n) \frac{E(Ni_6Cu_{32})}{32} \quad (1)$$

Burada,  $E(Ni_6Pt_nCu_{32-n})$  üçlü nanoalaşımının toplam enerjisini,  $E(Ni_6Pt_{32})$  ve  $E(Ni_6Cu_{32})$  ise ikili Ni-Pt ve Ni-Cu nanoalaşımının toplam enerjilerini temsil etmektedir. Fazlalık enerji analizinde, fazlalık enerjinin en düşük değeri en kararlı kompozisyonu vermektedir. Pt atomlarının sayısının ( $n$ ) bir fonksiyonu olarak Şekil 2 ile verilen  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımın fazlalık enerji eğrisine göre en kararlı yapı  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  olarak elde edilmiştir.

$Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının global optimizasyonları sonucunda elde edilen en düşük enerjiye ve en kararlı kimyasal düzene sahip global minimum geometrileri Şekil 1'de gösterilmektedir. Şekil 1'de gösterildiği gibi Cu atomları sadece  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının yüzeyine yerleşmektedirler. Ni, Pt ve Cu atomlarının çekirdeğe veya yüzeye yerleşme eğilimleri atomların yüzey enerjilerine ve bağlanma enerjilerine bağlı olarak açıklanabilmektedir. Nanoalaşımlarda diğer atomlardan daha küçük



Şekil 2.  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının fazlalık enerjilerinin ve Pt-Cu bağ sayılarının Pt sayısına göre değişimi.

yüzey ve bağlanma enerjisine sahip atomlar nanoalaşımın yüzeyine yerleşmektedirler. Cu atomları ( $113.9 \text{ meV}\text{\AA}^{-2}$ ), Ni ( $149 \text{ meV}\text{\AA}^{-2}$ ) ve Pt ( $159 \text{ meV}\text{\AA}^{-2}$ ) atomlarından daha küçük yüzey enerjisine sahip olduğu için bütün  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımında yüzeye yerleşmeyi tercih etmişlerdir. Ayrıca, Cu atomu ( $3.49 \text{ eV/atom}$ ) Ni ( $4.44 \text{ eV/atom}$ ) ve Pt ( $5.84 \text{ eV/atom}$ ) atomundan daha küçük bağlanma enerjisine sahiptir (Ferrando vd. 2008).

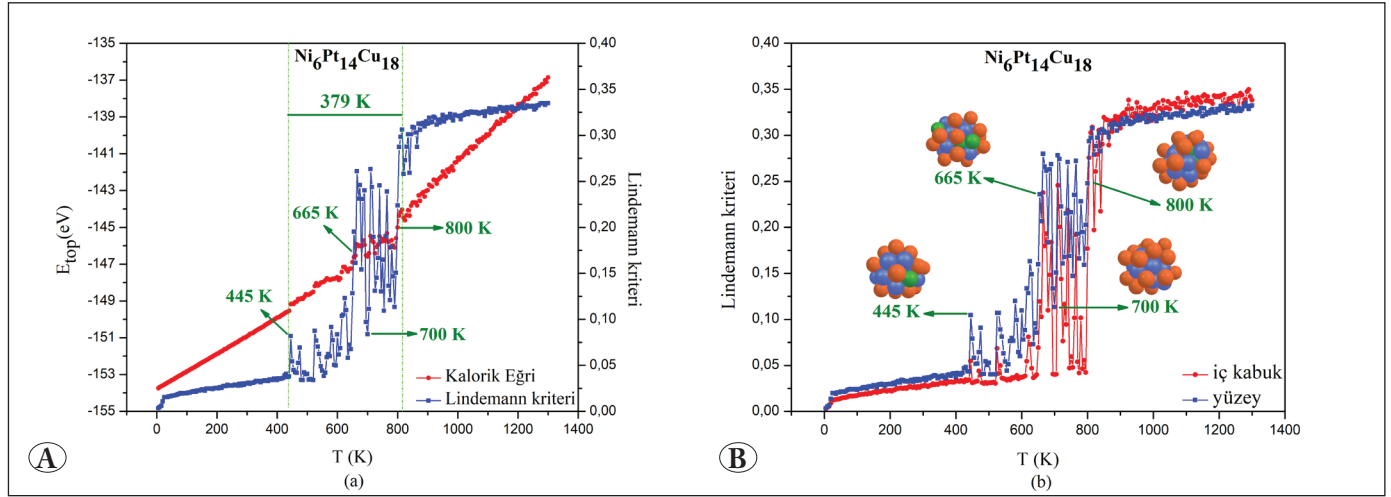
Şekil 2 ile gösterilen  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının fazlalık enerji eğrisine göre  $Ni_6Cu_{32}$  ve  $Ni_6Pt_{32}$  ikili nanoalaşımının fazlalık enerji değeri  $E_{faz}=0$  olduğu görülmektedir.  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının en kararlı kompozisyonu olarak bulunan  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının fazlalık enerji değeri ise,  $E_{faz}=-3.5 \text{ eV}$ 'dir. Bu sonuç, en kararlı nanoalaşımın ikili nanoalaşımlara göre karışmaya daha elverişli olduğunu göstermektedir.

$Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının kararlılığını etkileyen faktörlerden biri de Pt-Cu bağ sayısıdır ve  $E_{faz}$  değerleri ile arasında bir ilişki vardır (Wang vd. 2016). Pt-Cu bağ sayısı, Pt atomlarının sayısının ( $n$ ) bir fonksiyonu olarak Şekil 2 ile verilmiştir. Şekil 2'ye göre,  $E_{faz}$  değeri en düşük olan kompozisyonun Pt-Cu bağ sayısı en fazladır. Bu sonuç, daha fazla Pt-Cu bağına sahip kompozisyonların daha kararlı olduğunu göstermektedir.

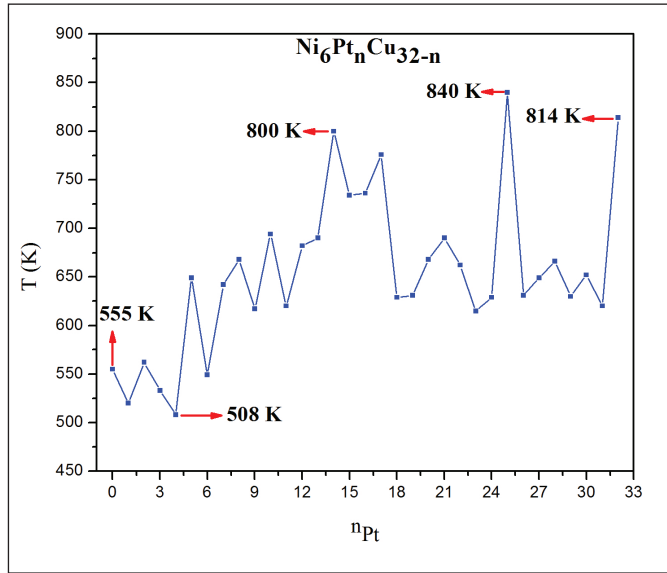
Bir nanoalaşımın erime sıcaklığı, nanoalaşım ısıtıldığında katı halden sıvı hale geçiş yaptığı sıcaklıktır. MD simülasyon yönteminde nanoalaşımın erime sıcaklığını belirlemek için kullanılan en yaygın yöntemler, kalorik eğri ve Lindemann kriteridir. Kalorik eğri, nanoalaşımın erime sürecinde toplam enerjinin ( $E_{top}$ ) sıcaklıkla değişimini vermektedir ve nanoalaşım katı halden, sıvı hale geçtiğinde kalorik eğride bir sıçrama gözlenmektedir. Kalorik eğrideki bu sıçrama erime sıcaklığına karşılık gelmektedir. Kalorik eğrilerden elde edilen  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının erime sıcaklıklarını desteklemek için Lindemann kriteri de kullanılmıştır. Lindemann kriterine göre atomlar arası mesafe %10-%15 arasında değişim gösterdiğinde sistemde erime başlamış demektir. Lindemann kriterinin kritik değeri genellikle 0.1 olarak alınır, ancak kritik değer, atomlar arasındaki etkileşimlerin doğası, kuantum etkilerinin büyüklüğü ve kristal yapı gibi faktörlere bağlı olarak 0.05 ile 0.20 arasında değişebilmektedir. Lindemann kriteri Eşitlik (2) ile tanımlanmaktadır (Yıldırım ve Arslan 2020, Garip 2018, Garip 2019).

$$\delta_i = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i \neq j} \sqrt{\frac{\langle r_{ij}^2 \rangle - \langle r_{ij} \rangle^2}{r_{ij}}} \quad (2)$$





**Şekil 3. (A)**  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının kalorik eğri ve Lindemann kriterinin sıcaklıkla değişim eğrisi. **(B)**  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının her katmanının Lindemann kriterinin sıcaklığa göre değişim eğrisi.



**Şekil 4.**  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının kompozisyona bağlı erime sıcaklıkları.

Burada,  $N$  toplam atom sayısı,  $i$  sistemdeki her bir atomu,  $j$  ise her bir atomun en yakın komşu atomlarını temsil etmektedir.  $r_{ij}$  parametresi  $i$  atomunun en yakın komşu atomları ile arasındaki mesafe ve  $\langle r_{ij} \rangle$  ifadesi de mesafelerin istatistiksel ortalaması anlamına gelmektedir.

Fazlalık enerji analizi sonucunda bulunan  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  en kararlı kompozisyonunun kalorik eğrisi ve Lindemann kriteri Şekil 3A'da sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının Şekil 3A'ya göre, erime sıcaklığı 800 K'dir. Ayrıca, 437 K değerinde başlayıp 816 K sıcaklığına kadar devam eden aralıkta bir izomerleşme mevcuttur.

Yaklaşık 379 K'lik bu sıcaklık aralığında  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımını sıvı faza geçmiş ardından yine katı faza dönmüştür. İzomerleşmeyi  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının katmanlarına göre daha detaylı incelemek için  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının her katmanının Lindemann kriterinin sıcaklığa göre değişimleri Şekil 3B'de verilmiştir. Şekil 3B'ye göre nanoalaşımın yüzeyindeki atomlar merkeze yakın olan atomlardan daha büyük Lindemann kriterine sahiptir. İzomerizasyon aralığındaki bazı sıcaklıklarda  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  yüzeyinde bakır atomlarının baskın olduğu Şekil 3B'de görülmektedir. Bu sonuç, nanoalaşımında meydana gelen bu izomerleşmeye yüzey atomlarının katkısı daha fazladır şeklinde yorumlanabilir. Garip, 38 atomlu  $Pd_nPt_{6-n}Au_{32}$  nanoalaşımının farklı ısıtma oranlarında erime dinamiğini incelediği çalışmasında benzer sonuçlar bulmuştur (Garip 2020).

$Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının erime sıcaklığı üzerindeki kompozisyon etkisini incelemek için tüm kompozisyonların erime sıcaklıkları kalorik eğri ve Lindemann kriteri kullanılarak bulunmuş ve erime sıcaklıkları Pt atomlarının sayısının ( $n$ ) bir fonksiyonu olarak Şekil 4'te verilmiştir. MD simülasyon sonuçları  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının erime sıcaklıklarının kompozisyona bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Şekil 4'te gösterildiği gibi, nanoalaşımın kompozisyonu ile erime sıcaklıkları arasında doğrusal bir ilişki yoktur.  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımını için  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  kompozisyonuna kadar erime sıcaklıkları genel olarak artmaktadır. Bu aralıkta bulunan  $Ni_6Pt_4Cu_{28}$  kompozisyonunun erime sıcaklığı Ni-Pt-Cu nanoalaşımının sahip olduğu en düşük erime sıcaklığıdır

(508 K).  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  kompozisyonu  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımlarının en kararlı kompozisyonudur ve en yüksek üçüncü erime sıcaklığına (800 K) sahiptir.  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  kompozisyonundan  $Ni_6Pt_{32}$  kompozisyonuna kadar erime sıcaklıkları genel olarak azalmaktadır.  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  kompozisyonundan  $Ni_6Pt_{25}Cu_7$  kompozisyonuna kadar erime sıcaklıkları 800 K ile 840 K arasında dalgalanmaktadır.  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımlarının  $Ni_6Pt_{25}Cu_7$  kompozisyonunda sahip olduğu erime sıcaklığı (840 K) Ni-Pt-Cu nanoalaşımlarının sahip olduğu en yüksek erime sıcaklığıdır. Ayrıca Şekil 4'ten  $Ni_6Cu_{32}$  ikili nanoalaşımının (555 K),  $Ni_6Pt_{32}$  ikili nanoalaşımından (814 K) daha düşük erime sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak, Pt bakımından zengin olan Ni-Pt-Cu nanoalaşımlarının erime sıcaklıklarının, Cu bakımından zengin olan Ni-Pt-Cu nanoalaşımlarının erime sıcaklıklarından büyük olduğu görülmektedir. Ek olarak Ni, Pt ve Cu atomlarının bulk erime sıcaklıkları sırasıyla 1728 K, 2045 K ve 1358 K'dir (Kittel 2004). Ni-Pt-Cu üçlü nanoalaşımların erime sıcaklıkları Pawlow yasasına (Pawlow 1909) göre beklenildiği gibi bulk erime sıcaklıklarından daha düşüktür.

Bu çalışmada,  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının farklı sıcaklıklardaki yapılarını sınıflandırmak için Ortak Komşu Analizi temeline dayanan OVITO'daki (Stukowski 2010) BAA yöntemi kullanılmıştır. BAA yöntemi, Ih, BCC (Hacim Merkezli Kübik), HCP (Altıgensel Sıkı Paketli) ve FCC (Yüzey Merkezli Kübik) koordinasyon yapılarını ayırt etmek için geliştirilmiştir (Ackland ve Jones 2006, Stukowski 2012).  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının BAA değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tabloyu incelediğimizde, Lindemann kriteri ile verilen bazı sıcaklıklarda FCC, HCP, BCC ve Ih geometrik yapısına sahip atomlar arasında yapısal geçişler gözlenmektedir. Bu nedenle Şekil 2'de bu sıcaklıklarda Lindemann kriteri hızlı bir şekilde artıp azalmaktadır. Erime sıcaklığından sonra yapı çok düzensiz bir halde olduğu için, Ih geometrik yapısına sahip atom bulunmamaktadır. Ayırı-

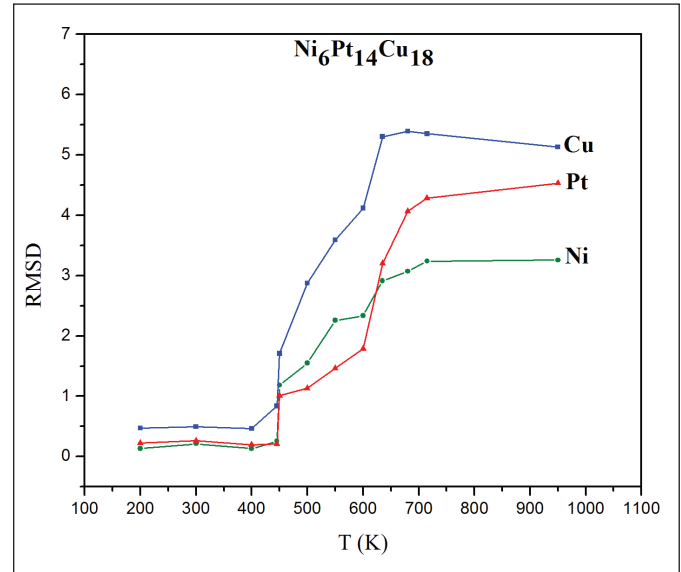
ca erime sıcaklığından sonra, düzensiz atomların sayısının biraz arttığını görülmektedir. Genel olarak, erimeden önce ve sonra düzensiz atomlar daha fazladır.

RMSD, atom kümelerinin erime sıcaklığından önce ve sonra atom hareketlerini analiz etmek için kullanılan bir bağıntıdır ve Eşitlik (3) ile verilmektedir (Jindal vd. 2017).

$$RMSD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (x_i - x_i^R)^2 + (y_i - y_i^R)^2 + (z_i - z_i^R)^2} \quad (2)$$

Burada  $x_i$ ,  $y_i$  ve  $z_i$   $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  üçlü nanoalaşımının 0 K'daki koordinatlarını,  $x_i^R$ ,  $y_i^R$  ve  $z_i^R$  ise herhangi bir sıcaklıktaki koordinatlarını göstermektedir. N ise toplam atom sayısıdır.

$Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  üçlü nanoalaşımının RMSD değerleri, çeşitli sıcaklıklarda 1100 K'e kadar hesaplanmıştır ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde düşük sıcaklıklarda,  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının Ni, Pt ve Cu atomlarının hareketliliğinin hemen hemen sabit olduğu görülmektedir. Sıcaklığın



Şekil 5.  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının RMSD değişimi.

Çizelge 2.  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının farklı sıcaklıklardaki yapısal değişimleri.

T(K)	FCC	HCP	BCC	Ih	Düzensiz (Diğer)
0	0	0	3	4	31
300	0	1	1	3	33
445	0	1	2	3	32
665	0	1	2	5	30
700	1	5	2	5	25
800	0	2	0	7	29
1000	1	1	4	0	32
1300	0	1	3	0	34

artmasıyla birlikte, Ni, Pt, Cu atomlarının hareketliliği artmaya başladığı için RMSD değerleri sıcaklıkla birlikte aniden yükselmektedir. Atomların hareketliliğindeki bu artışlar  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının iç kısmında bulunan Ni atomlarına göre, yüzeyinde bulunan Pt ve Cu atomlarında daha fazla olduğu görülmektedir. Bu bize erime sürecinde, yüzey atomlarındaki hareketlenmenin daha erken başladığını göstermektedir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada Gupta çok cisim potansiyelini kullanarak Ni-Pt-Cu nanoalaşımını farklı kompozisyonlarda teorik olarak incelenmiştir. Optimizasyon sonucunda,  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının global minimum yapıları çoğunlukla Ih geometride elde edilmiştir.  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının yapısal analizi sonucunda, en düşük fazlalık enerji değerine ve en fazla Pt-Cu bağına sahip kompozisyonun en kararlı kompozisyon olduğu görülmüştür. Fazlalık enerji analizi ile bağ sayısı analizi sonucunda  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının en kararlı kompozisyonu  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  kompozisyonu olarak bulunmuştur. MD simülasyonları NVT koşullarında, Ni-Pt-Cu üçlü nanoalaşımının erime davranışları üzerindeki kompozisyon etkisini araştırmak için kullanılmıştır.  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının erime sıcaklığı 800 K olarak bulunmuştur. MD simülasyon sonuçları,  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının erime sıcaklıklarının kompozisyona bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  kompozisyonunun  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımını için en kararlı kompozisyon olmasına rağmen,  $Ni_6Pt_{25}Cu_7$  kompozisyonunun en yüksek erime sıcaklığına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, Pt bakımında zengin olan Ni-Pt-Cu nanoalaşımının erime sıcaklıkları, Cu bakımından zengin olan Ni-Pt-Cu nanoalaşımının erime sıcaklıklarından büyük olduğu görülmüştür. Ek olarak,  $Ni_6Pt_nCu_{32-n}$  ( $n=0-32$ ) nanoalaşımının erime sıcaklıklarının bulk erime sıcaklıklarından daha düşük olduğu elde edilmiştir. Lindemann kriteri ve BAA birlikte değerlendirildiğinde,  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının erime bölgesinde artan sıcaklık ile birlikte yapısal değişiklikler olduğu görülmüştür.  $Ni_6Pt_{14}Cu_{18}$  nanoalaşımının RMSD değerlerindeki değişime göre, artan sıcaklıkla Cu atomlarının Ni ve Pt atomlarından daha hareketli olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, Ni-Pt-Cu üçlü nanoalaşımının çok fonksiyonlu özellikleri için büyük önem taşımaktadır ve üçlü bir nanoalaşımında bir atom sabit tutulup diğer iki atom değiştirildiğinde yeni ve kullanışlı malzemelerin geliştirilmesine rehberlik edeceği beklenilmektedir.

#### 5. Kaynaklar

- Ackland, G. J., Jones, A. P., 2006.** Applications of local crystal structure measures in experiment and simulation. *Phys. Rev. B*, 73, 054104. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.73.054104>
- Arslan, H., Garip, A. K., Johnston, R. L., 2015.** Theoretical study of the structures and chemical ordering of Cobalt-Palladium nanoclusters. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 17, 28311-28321. <https://doi.org/10.1039/C5CP01029B>
- Bruma, A., Ismail, R., Paz-Borbon, L. O., Arslan, H., Barcaro, G., Fortunelli, A., Li, Z. Y., Johnston, R. L., 2013.** DFT study of the structures and energetics of 98-atom AuPd clusters. *Nanoscale*, 5, 646-652. <https://doi.org/10.1039/C2NR32517A>
- Bush, I. J., Todorov, I. T., Smith, W., 2006.** DAFT DL\_POLY distributed memory adaptation of the smoothed particle mesh ewald method. *Comput. Phys. Commun.*, 175(5), 323-329. <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2006.05.001>
- Cao, X., Han, Y., Gao, C., Xu, Y., Huang, X., Willander, M., Wang, N., 2014.** Highly catalytic active PtNiCu nanochains for hydrogen evolution reaction. *Nano Energy*, 9, 301-308. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2014.08.008>
- Cao, L., Zhao, Z., Liu, Z., Gao, W., Dai, S., Gha, J., Xue, W., Sun, H., Duan, X., Pan, X., Mueller, T., Huang, Y., 2019.** Differential surface elemental distribution leads to significantly enhanced stability of PtNi-based ORR catalysts. *Matter*, 1(6), 1567-1580. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2019.07.015>
- Carpenter, M. K., Moylan, T. E., Kukreja, R. S., Atwan, M. H., Tessema, M. M., 2012.** Solvothermal synthesis of Platinum alloy nanoparticles for Oxygen Reduction Electrocatalysis. *J. Am. Chem. Soc.*, 134 (20), 8535-8542. <https://doi.org/10.1021/ja300756y>
- Chaves, A. S., Rondina, G. G., Piotrowski, M. J., Da Silva J. L. F., 2015.** Structural formation of binary PtCu clusters: A density functional theory investigation. *Comput. Mater. Sci.*, 98, 278-286. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2014.11.022>
- Cleri, F., Rosato, V., 1993.** Tight-binding potentials for transition metals and alloys. *Phys. Rev. B*, 48(1), 22-33. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.48.22>
- Cuevas-Muniz, F. M., Gurrola, M. P., Tellez-Vazquez, O., Esparza, R., Guerra-Balcazar, M., Arriaga, L. G., Ledesma-Garcia, J., 2015.** Correlation between theoretical data and experimental selective properties of PtAg core-shell nanoparticles for oxygen reduction reactions. *Int. J. Hydrog. Energy*, 40(48):17284-17290. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.06.096>
- Deng, L., Hu, W., Deng, H., Xiao, S., 2010.** Surface segregation and structural features of bimetallic Au-Pt nanoparticles. *J. Phys. Chem. C*, 114(25), 11026-11032. <https://doi.org/10.1021/jp100194p>

- Ferrando, R., Jellinek, J., Johnston, R. L., 2008.** Nanoalloys: From theory to applications of alloy clusters and nanoparticles, *Chemical Reviews*, 108(3): 845–910.
- Fu, G., Xia, B., Ma, R., Chen, Y., Tang, Y., Lee, J., 2015.** Trimetallic PtAgCu@PtCu core@shell concave nanooctahedrons with enhanced activity for formic acid oxidation reaction. *Nano Energy*, 12, 824–832. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2015.01.041>
- Fundora-Galano, G., Orgaz, E., 2018.** Structural stability of binary Pd<sub>34-n</sub>M<sub>n</sub> (M=Cu, Ag, Au) clusters. *Theor. Chem. Acc.*, 137(6). <https://doi.org/10.1007/s00214-018-2268-2>
- Garip, A. K., 2018.** A Molecular Dynamics study: Structures and thermal stability of Pd<sub>m</sub>Pt<sub>(13-m)</sub>Ag<sub>42</sub> ternary nanoalloys. *Int. J. Mod. Phys. C*, 29 (09), 1850084. <https://doi.org/10.1142/S0129183118500845>
- Garip, A. K., 2019.** The composition effect for the thermal properties of Pd<sub>n</sub>Ag<sub>(42-n)</sub>Pt<sub>13</sub> ternary nanoalloys: a molecular dynamics study. *Mol. Simul.*, 45 (13), 1004-1013. <https://doi.org/10.1080/08927022.2019.1627347>
- Garip, A. K., 2020.** Kesilmiş oktahedron yapısına sahip Pd<sub>n</sub>Pt<sub>6-n</sub>Au<sub>32</sub> nanoalaşımlarının erime dinamiği. *DÜBİTED*, 8, 1732-1745. <https://doi.org/10.29130/dubited.622000>
- Goh, J., Akola, J., Ferrando, R., 2017.** Geometric structure and chemical ordering of large AuCu clusters: A computational Study. *J. Phys. Chem. C*, 121(20), 10809-10816. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b11958>
- Gould, A. L., Heard, C. J., Logsdail, A. J., Catlow, C. R. A., 2014.** Segregation effects on the properties of (AuAg)<sub>147</sub>. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 16(39), 21049-21061. <https://doi.org/10.1039/c4cp00753k>
- Gupta, R. P., 1981.** Lattice relaxation at a metal surface. *Phys. Rev. B*, 23, 6265. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.23.6265>
- Herault, N., Olivet, L., Pirault-Roy, L., Especel, C., Vicerich, M. A., Pieck, C. L., Epron, F., 2016.** Controlled preparation and characterization of Pt-Rh/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bimetallic catalysts for reactions in reducing conditions. *Appl. Catal. A*, 517, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2016.02.024>
- Hong, W., Shang, C., Wang, J., Wang, E., 2015.** Trimetallic PtCuCo hollow nanospheres with a dendritic shell for enhanced electrocatalytic activity toward ethylene glycol electrooxidation. *Nanoscale*, 7, 9985-9989. <https://doi.org/10.1039/C5NR01679G>
- Jindal, S., Chiriki, S., Bulusu, S. S., 2017.** Spherical harmonics based descriptor for neural network potentials: Structure and dynamics of Au<sub>147</sub> nanocluster. *J. Chem. Phys.*, 146, 204301. <https://doi.org/10.1063/1.4983392>
- Kang, J., Chen, T., Zhang, D., Guo, L., 2016.** PtNiAu trimetallic nanoalloys enabled by a digestive-assisted process as highly efficient catalyst for hydrogen generation. *Nano Energy*, 23, 145-152. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.03.017>
- Kittel C., 2004.** Introduction to Solid State Physics. 8. Edition, Wiley, 704 s.
- Lan, J., Li, C., Liu, T., Yuan, Q., 2019.** One-step synthesis of porous PtNiCu trimetallic nanoalloy with enhanced electrocatalytic performance toward methanol oxidation. *J. S. Chem. Soc.*, 23 (1), 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2018.04.002>
- Magalhaes, M. M., Colmati, F., 2014.** Carbon-Supported PtSnCu, PtCu and PtSn electrocatalysts for ethanol oxidation in acid Mmedia. *J. Braz. Chem. Soc.*, 25(8). <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20140111>
- Mao, J., Cao, T., Chen, Y., Wu, Y., Chen, C., Peng, Q., Wang, D., Li, Y., 2015.** Seed-mediated synthesis of hexameric octahedral PtPdCu nanocrystals with high electrocatalytic performance. *Chem Comm.*, 51(84), 15406-15409. <https://doi.org/10.1039/c5cc06740e>
- Noh, S. H., Han, B., Ohsaka, T., 2015.** First-principles computational study of highly stable and active ternary PtCuNi nanocatalyst for oxygen reduction reaction. *Nano Res.*, 8, 3394-3403. <https://doi.org/10.1007/s12274-015-0839-2>
- Park, H., Kim, D., Kim, H., Oh, S., Jung, W. S., Kim, S., 2020.** Binder-coated electrodeposited PtNiCu catalysts for the oxygen reduction reaction in high-temperature polymer electrolyte membrane fuel cells. *Appl. Surf. Sci.*, 510, 145444. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145444>
- Pawlow, P., 1909.** Über die Abhängigkeit des schmelzpunktes von der oberflächenenergie eines festen Körpers. *Z. Phys. Chem.*, 65, 545, 1-35. <https://doi.org/10.1515/zpch-1909-6502>
- Stukowski, A., 2010.** Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO—the Open Visualization Tool. *Model. Simul. Mater. Sci. Eng.*, 18(1), 015012. <https://doi.org/10.1088/0965-0393/18/1/015012>
- Stukowski, A., 2012.** Structure identification methods for atomistic simulations of crystalline materials. *Model. Simul. Mater. Sci. Eng.*, 20(4), 045021. <https://doi.org/10.1088/0965-0393/20/4/045021>
- Tao, J., Ji, Q., Shao, G., Li, Z., Liu, T., Wen, Y., 2017.** Stable structure optimization of Pt-X-Cu (X=Au, Ag, Pd and Rh) trimetallic nanoparticles. *J. Alloys Compd.*, 716, 240-250. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.04.300>
- Taran, S., 2019.** 13 Atomlu Cu-Au-Pt üçlü metal nanoalaşımların yapısal özellikleri. *DÜBİTED*, 7, 1204-1216. <https://doi.org/10.29130/dubited.512614>



- Taran, S., Garip, A. K. ve Arslan, H., 2020.** Investigation of the chemical ordering and structural properties of the trimetallic (PtNi)<sub>n</sub>@Ag Nanoalloys. *J. Clust. Sci.*, <https://doi.org/10.1007/s10876-020-01778-8>
- Todorov, I. T., Smith, W., Trachenko, K., Dove M. T., 2006.** DL\_POLY\_3: new dimensions in molecular dynamics simulations via massive parallelism. *J. Mater. Chem.*, *16*(20), 1911-1918. <https://doi.org/10.1039/B517931A>
- Wales, D. J., Doye, J. P. K., 1997.** Global optimization by Basin-Hopping and the lowest energy structures of Lennard-Jones clusters containing up to 110 Atoms. *J. Phys. Chem. A*, *101*(28), 5111-5116. <https://doi.org/10.1021/jp970984n>
- Wang, M., He, Y., Li, R., Ma, Z., Zhang, Z., Wang, X., 2015.** Electrochemical activated PtAuCu alloy nanoparticle catalysts for formic acid, methanol and ethanol electro-oxidation. *Electrochim. Acta*, *178*, 259-269. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.07.157>
- Wang, L., Yang, Y., Wang, N., Huang, S., 2016.** Theoretical investigation of structural, electronic and magnetic properties for Pt<sub>n</sub>Ni<sub>55-n</sub> (n=0-55) nanoparticles. *Comput. Mater. Sci.*, *117*, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2016.01.016>
- Wilson, N. T., Johnston, R. L., 2002.** A theoretical study of atom ordering in copper-gold nanoalloy clusters. *J. Mater. Chem.*, *12*, 2913-2922. <https://doi.org/10.1039/B204069G>
- Wu, G., Liu, Q., Wu, X., 2015.** Geometrical and energetic properties in 38-atom trimetallic Au-Pd-Pt clusters. *Chem. Phys. Lett.*, *620*, 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2014.12.022>
- Wu, G., Sun, Y., Wu, X., Chen, R., Wang, Y., 2017.** Large scale structural optimization of trimetallic Cu-Au-Pt clusters up to 147 atoms. *Chem. Phys. Lett.*, *686*, 103-110. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2017.08.049>
- Wu, D., Zhang, W., Lin, A., Cheng, D., 2020.** Low Pt-content ternary PtNiCu nanoparticles with hollow interiors and accessible surfaces as enhanced multifunctional electrocatalysts. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, *12*, 8, 9600-9608. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b20076>
- Xia, Z., Li, C. M., Dai, L., 2019.** Controlled surface elemental distribution enhances catalytic activity and stability. *Matter*, *1*, 1445-1455. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2019.11.009>
- Yang, Y., Zhao, Z., Zhu, J., Cheng, D., 2020.** Effect of size and composition on the structural stability of Pt-Ni nanoalloys. *J. Clust. Sci.*, *31*, 609-614. <https://doi.org/10.1007/s10876-019-01502-1>
- Yıldırım, H., Arslan, H., 2019.** CuAgAu üçlü nanoalaşımların optimizasyonu ve erime dinamiği. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, *21*(1), 336-351. <https://doi.org/10.25092/baunfbed.547194>
- Yıldırım, H., Arslan, H., 2020.** Size and composition effect on structural properties and melting behaviors of Cu-Ag-Au ternary nanoalloys. *Int. J. Mod. Phys. C*, *31*(06), 2050078. <https://doi.org/10.1142/S0129183120500783>
- Yousaf, A. B., Alsaydeh, S. A. M., Zavahir, F. S., Kasak, P., Zaidi, J., 2018.** Ultra-low Pt-decorated NiCu bimetallic alloys nanoparticles supported on reduced graphene oxide for electro-oxidation of methanol. *MRS Communications*, *8*(03):1-8. <https://doi.org/10.1557/mrc.2018.140>
- Zhang, P., Dai, X., Zhang, X., Chen, Z., Yang, Y., Sun, H., Wang, X., Wang, H., Wang, M., Su, H., Li, D., Li, X., Qin, Y., 2015.** One-Pot synthesis of ternary Pt-Ni-Cu nanocrystals with high catalytic performance. *Chem. Mater.*, *27*(18), 6402-6410. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.5b02575>
- Zhang, P., Hu, Y., Li, B., Zhang, Q., Zhou, C., Yu, H., Zhang, X., Chen, L., Eichhorn, B., Zhou, S., 2015.** Kinetically stabilized Pd@Pt core-shell octahedral nanoparticles with thin Pt layers for enhanced catalytic hydrogenation performance. *ACS Catal.*, *5* (2), 1335-1343. <https://doi.org/10.1021/cs501612g>
- Zhang, H., Wang, H., Cao, J., Ni, Y., 2017.** Hierarchical Cu-Ni-Pt dendrites: Two-step electrodeposition and highly catalytic performances. *J. Alloys Compd.*, *698*, 654-661. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.12.212>
- Zheng, J., 2017.** Seawater splitting for high-efficiency hydrogen evolution by alloyed PtNi<sub>x</sub> electrocatalysts. *Appl. Surf. Sci.*, *413*, 360-365. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.03.285>



## Akpınar (Kırşehir) Bölgesi Nefelinli Siyenitinin Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması

*The Research about the Technological Properties of Nepheline Syenite in Akpınar (Kırşehir) Region*

Serhan Haner\*

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Dinar Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Afyonkarahisar, Türkiye

### Öz

Nefelinli siyenitin en büyük tüketim alanları cam ve seramik sanayileridir. Serbest silis içermemesi, yüksek alkali ve alümina içermesi, yüksek ergitme gücü ve dar erime aralığı, cam endüstrisine ideal uyum gösteren karakteristiklerdir. Endüstrinin çeşitli kollarında kullanım alanı ve miktarı hızla artan bu değerli hammaddenin en büyük rezervleri Rusya, Kanada, Norveç, Brezilya, Çin ve Türkiye’de bulunmaktadır. Türkiye’deki madenciligi, Kırşehir ilinin Akpınar bölgesinde yapılmaktadır. Akpınar-Kırşehir yöresi nefelinli siyeniti, İç Anadolu Kristalen Karmaşığı içerisinde yayılım açısından en küçük intrüzif kütlelerden biri olup alkali plütonik kayalardan oluşmaktadır. Türkiye’deki sanayiciler açısından, nefelinli siyenitin alışımlışın dışında pahalı bir hammadde olarak görülmesi sonucunda, tüketimi düşük miktarlarda olmaktadır. Yeterince ilgi gösterilmeyen bu hammadde hakkında akademik anlamdaki bilimsel çalışmaların sınırlı kaldığı da görülmüştür. Hammaddelerin tane boyutunun küçültmesi aşamasında ortaya çıkan enerji tüketimi kayacın kristal yapısı, fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilişkilidir. Bu çalışmada, Akpınar-Kırşehir yöresindeki nefelinli siyenitin mineralojik, ısıl, fiziksel ve mekanik özellikleri ile Hardgrove öğütülebilirlik değeri (HGI: Hardgrove Grindability Index) araştırılmıştır. Nefelinli siyenitin mineralojik özellikleri, X-Işını kırınımı (XRD: X-Ray diffraction) ve ince kesit incelemeleri ile; ısıl özellikleri, termogravimetrik ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC/TGA: termogravimetrik and differential scanning calorimetry) ve pişme rengi ölçümü ile belirlenmiştir. Fiziksel özelliklerinden, birim hacim ağırlık, su emme oranı ve porozite değerleri; mekanik özelliklerden, Schmidt yüzey sertliği, Ultrasonik P dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. Ayrıca HGI değerinden Bond iş indeksi değeri hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Fiziko-mekanik özellik, Isıl özellik, Kırşehir, Mineraloji, Nefelinli siyenit

### Abstract

The largest fields of consumption of nepheline syenite are the glass and ceramic industries. Its not containing free silica, containing high alkali and alumina, high melting power, and narrow melting range are ideal characteristics for the glass industry. Its field of use in various branches of the industry and the largest reserves of this valuable raw material whose quantity is rapidly increasing are found in Russia, Canada, Norway, Brazil, China, and Turkey. Its mining in Turkey is done in the Akpınar region of Kırşehir. Akpınar-Kırşehir region nepheline syenite is one of the smallest intrusive masses in the Central Anatolian Crystalline Karm dish spread and consists of alkali plutonic rocks. As a result of nepheline syenite being seen as an expensive raw material other than its being accustomed to in terms of industrialists in Turkey, it is being consumed at low quantities. It has also been seen that scientific studies in an academic sense about this raw material, which has not been shown sufficient interest, are limited. The energy consumption occurring during the reduction of the particle size of the raw materials is related to the crystal structure, physical and mechanical properties of the rock. In this study, mineralogical, thermal, physical and mechanical properties and Hardgrove grindability of nepheline syenite in Akpınar-Kırşehir region were investigated. The mineralogical properties of nepheline syenite were determined by X-Ray diffraction (XRD) and thin section studies; The thermal properties were determined by thermogravimetric and differential scanning calorimetry (DSC/TGA) and firing color measurement. Physical properties of unit weight, water absorption rate and porosity values; Among the mechanical properties, Schmidt surface hardness, Ultrasonic P wave velocity and uniaxial compressive strength values were determined. In addition, the Bond work index value was calculated from the HGI value.

**Keywords:** Physico-mechanical features, Thermal feature, Kırşehir, Mineralogy, Nepheline syenite

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: shaner@aku.edu.tr

Serhan Haner [orcid.org/0000-0002-8579-078X](https://orcid.org/0000-0002-8579-078X)

## 1. Giriş

Nefelinli siyenitler, manto türevli silişçe doymamış mağmaların olağan magmatik ayrışma süreciyle oluşurlar. Nefelinli siyenitler, magmatik kökenli alkalin derinlik kayalarındır. Nefelinli siyenitler magmatik ayrışmanın çok ilerlemiş döneminde kristalleşirler. Volkanik eşdeğeri fonolittir. Kanada yataklarının bazıları çeşitli bölgesel tektonik olaylar esnasında metamorfizma geçirmiştir. Diğer taraftan, daha eski bir yatak olan Finlandiya'daki Livaara yatağı için metasomatik köken önerilmiştir (Haner ve Demir 2018, McLemore 2006, Tuzcu 1992). Tipik olarak alkali ya da karbonatit kompleksler ile ilişkili nefelinli siyenitler dünya genelinde ekonomik ve akademik alanlarda büyük ilgi görmektedir. Cam ve seramikte kullanılabilecek ekonomik nefelinli siyenit yataklarına ender rastlanır. Genellikle nefelinli siyenit yatakları endüstriyel kullanım açısından yüksek demir içeriğine sahiptirler. En büyük rezervler ve küresel nefelinli siyenit üreticileri Rusya, Kanada, Norveç, Brezilya, Çin ve Türkiye'de bulunmaktadır. Dünya genelinde 2013 yılında, 59.3 milyon dolar tutarında (491.000 ton) nefelinli siyenit ithalatı yapılmıştır (Haner ve Demir 2018, McLemore 2006, Tanner 2015). Türkiye'de nefelinli siyenit, B&S Yatırım A.Ş. Nefelin İşletmeleri tarafından Kırşehir ili Akpınar ilçesi Buzlukdağı mevkiinde işletilmesi yapılmaktadır. İşletme Kırşehir-Ankara yoluna 12 km mesafededir. Nefelinli siyenitin sahadaki görünür rezerv alanı 2250 m uzunluğa, 1850 m genişliğe ve 450 m derinliğe sahiptir. Bu yataktaki toplam rezervin 1 milyar tonun üzerinde olduğu düşünülmektedir. Karo, vitrifiye, frit, porselen, cam, izolator, çimento, izolasyon ve elektrod sanayilerine uygun özelliklerde nefelinli siyenit üretimi yapılmaktadır (Haner ve Demir 2018).

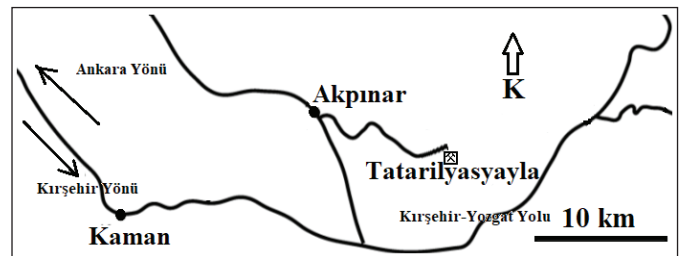
Feldispatik malzemeler yüzlerce yıldır seramik formülasyonunda ana ergitici olarak kullanılmaktadır. Nefelinli siyenit bu yüksek rekabet ortamında önemli bir oyuncudur. Nefelinli siyenitin, düşük ergime noktası ve erime kabiliyetinden dolayı 1900'lerin başlarından beri cam ve seramiklerde kullanımıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Ana pazarları cam, seramik, dolgu, pigment, boya, kaplama ve çatı parçacıklarıdır. Seramik sağlık gereçleri, karolar, elektrik porselenleri, sofrta takımları ve sırlarda, düşük pişirme sıcaklığı ve hızlı pişirme programına imkan sağlamaktadır. Nefelinli siyenit cam kompozisyonuna sağladığı alümina katkısı ile son ürünün mukavemetini geliştirir ve yapıda stabilizatör olarak davranmaktadır. İçerdiği alkaliler sayesinde cam hamurunda ergitici olarak davranmaktadır. Bu da üretimde kullanılan hammaddelerin maliyeti kadar enerji maliyetinde tasarruf

sağlamaktadır. Ayrıca viskoziteyi düşürür ve işlenebilirliği arttırmaktadır. Nefelinli siyenitin kullanılması ile kırılmaya karşı daha fazla dirençli cam ürünler elde edilmektedir (Haner ve Demir 2018, McLemore 2006).

Nefelinli siyenit, uluslararası tanımlamada, "Lösit, nefelin ve nefelinli siyenit (harmonized system code: 252930)" adı altında sınıflandırılmaktadır. Bu nedenle sadece nefelinli siyenit için ihracat ve ithalat rakamları hakkında bilgi sahibi olmak mümkün olmamaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2019 yılına ait HS12'ye göre dış ticaret verileri incelendiğinde "Lösit, nefelin ve siyenit nefelin" in yaklaşık olarak 904 tonu ihraç ve 2993 tonu ithal edilmiştir. İhracattan 700.021 TL kazanılırken, ithalata 6.080.580 TL ödemiştir. 2020 yılı için ise yaklaşık olarak 1685 tonu ihraç ve 3378 tonu ithal etmiştir. İhracattan 1.488.289 TL kazanılırken, ithalata 8.723.275 TL ödemiştir (TÜİK 2021). Bu değerlere bakıldığında çok kaliteli olan Türkiye nefelinli siyenitlerinin hem yurtiçi hem de yurtdışı tanıtımının yeterince yapılmadığı görülmektedir. Bu çalışmanın hedefi, Akpınar bölgesi nefelinli siyenitinin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve Türkiye için yeni bir kullanım alanı olan seramik sağlık gereçleri sektöründe kullanıma kazandırılmasıdır.

## 2. Gereç ve Yöntem

Çalışmada, BS Yatırım Depolama Madencilik Petrol Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin Kırşehir ili Akpınar ilçesinde bulunan Nefelin İşletmeleri'nden temin edilmiş olan nefelinli siyenit kullanılmıştır (Şekil 1). Nefelinli siyenite ait kimyasal analiz değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. BS Yatırım A. Ş. Kırşehir Nefelin İşletmeleri yer bulduru haritası.

EUROFEL (European Association of Feldspar Producers)'in (Avrupa Feldispat Üreticileri Derneği) yayınlamış olduğu terminolojiye göre % alümina ve % alkali içeriğine göre bir grafik hazırlanmıştır. Çizelge 1'de kimyasal analiz sonucu verilen nefelinli siyenit örneğinin %14'den fazla  $Al_2O_3$  ve %6'dan fazla  $Na_2O+K_2O$  içerdiği



**Çizelge 1.** Tüvenan Akpınar nefelinli siyenitinin kimyasal analizi.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	*K.K	TOPLAM
63.40	19.11	8.23	5.20	1.54	0.19	1.60	0.14	0.05	0.54	100

\*K.K. Kızdırma Kaybı.

**Şekil 2.** BS Yatırım A.Ş. Kırşehir Nefelin İşletmelerinden görüntüler.

görülmemektedir. Bu nedenle EUROFEL terminolojisine göre bu numune “feldispat” olarak da tanımlanabilir (Eurofel 2011). Kırşehir’in Akpınar ilçesinde bulunan tesisten bazı görüntüler Şekil 2’de görülmektedir.

Nefelinli siyenit ocağında saha gözlemlerine dayanarak farklı numuneler alınmıştır. Numune alınırken özellikle alınan numunenin kaya kütlelerinin özelliklerini içermesine özen gösterilmiştir. Elde edilen kaya numunelerinin özelliklerinin tespiti için numuneler hazırlanmıştır. İnce kesit incelemeleri Bülent Ecevit Üniversitesi Yer Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi’nde gerçekleştirilmiştir. Faz içerikleri X-Işını kırınım (XRD) yöntemi ile incelenmiştir. Bu amaçla örneklerin, X-Işını kırınım analizleri,  $2\theta=2-80^\circ$ , Cu K- $\alpha$ , 2 derece/dakika tarama hızında çekime tabi tutulmuşlardır. Fiziko-mekanik testler için numuneler 7x7x7 cm ebadından küp olarak TS 699 standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. TS 699 standartlarına uygun olarak hazırlanan deney numunelerinde birim hacim ağırlık tayini, su emme ve porozite tayini gibi fiziksel testler ve nokta yükü dayanım indeksi, Schmidt yüzey sertliği, Ultrasonik P dalga hızı ve tek eksenli basınç deneyi gibi mekanik testler yapılmıştır. Fiziko-mekanik testler, Süleyman Demirel Üniversitesi Kazı Mekaniği ve Doğal Taşlar Teknolojisi

Laboratuvarı’nda yaptırılmıştır. Toz numunenin renk (L a b) ölçümleri Konica Minolta marka spektrofotometre cihazı ile yapılmıştır. Pişirim işlemi maksimum sıcaklığı 1191°C’ye ayarlanmış Riedhammer marka tünel fırında (yakıtı doğal gaz, uzunluğu 110 m) gerçekleştirilmiştir. Renk ölçümleri, Çanakçılar Seramik Fabrikası AR-GE biriminde yapılmıştır. Isıl analizi, Simultane Diferansiyel Taramalı Kalorimetre ve Termogravimetrik Analizi (DSC/TGA) hava atmosferde 10°C.dk-1 ısıtma hızında 1100°C sıcakta gerçekleştirilmiştir. DSC/TGA analizi, ODTÜ Merkezi Laboratuvarı’nda TA Instruments SDT 650 Simultane DSC/TGA cihazında yaptırılmıştır. Isıl analiz, ısıl işlem karşısında meydana gelen dekompozisyon ve kristalizasyon davranışlarını karakterize etmekte faydalı bir yöntemdir. Maksimum kalsinasyon sıcaklığını da tanımlamak mümkündür. Termogravimetrik analiz (TGA) ısıtma esnasındaki kütle kaybını, diferansiyel taramalı kalorimetri de (DSC) ısıtma esnasındaki örnek sıcaklığındaki değişimleri ölçmektedir (Carter vd. 2007). Hardgrove öğütülebilirlik indeksini (HGI) belirlemek için, her biri 25.4±0.13 mm çapında olan 8 adet bilyanın hareket ettiği bilya yuvasından oluşan bir değirmen kullanılmıştır. Bilyalar 20±1 dev/dk hız ile döndürülür ve 29±0.2 kg toplam basınçta güç sarf ederler. Deneyde



kullanılan numune boyutu  $-1190+590 \mu\text{m}$ 'dir. Bu boyut aralığına kırılmış,  $100^\circ\text{C}$ 'de nemi uzaklaştırarak desikatörde soğutulmuş malzemeden  $50\pm 0.01$  gram alınarak değirmen 60 tur döndürülmüştür ve  $74 \mu\text{m}$ 'lik elekten elenmiştir. HGI deneyi, Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Öğütülebilirlik değeri Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır.

$$HGI = 13 + 6.93D_{74} \quad (1)$$

$D_{74}$ :  $74 \mu\text{m}$  elek altı miktarı (g).

Deney esnasındaki malzeme kaybı  $0.4$  gramdan fazla olduğunda deney tekrar edilmelidir. Hardgrove değirmeni kömürlerin öğütülebilirliğini ölçebilen bir cihazdır. ASTM D-409 standartlara uygun hale getirilmiş kömürlerin relatif öğütülebilirliği veya kömürlerin toz haline getirilmesindeki kolaylığı saptama işlemini kapsar. Hardgrove öğütülebilirlik

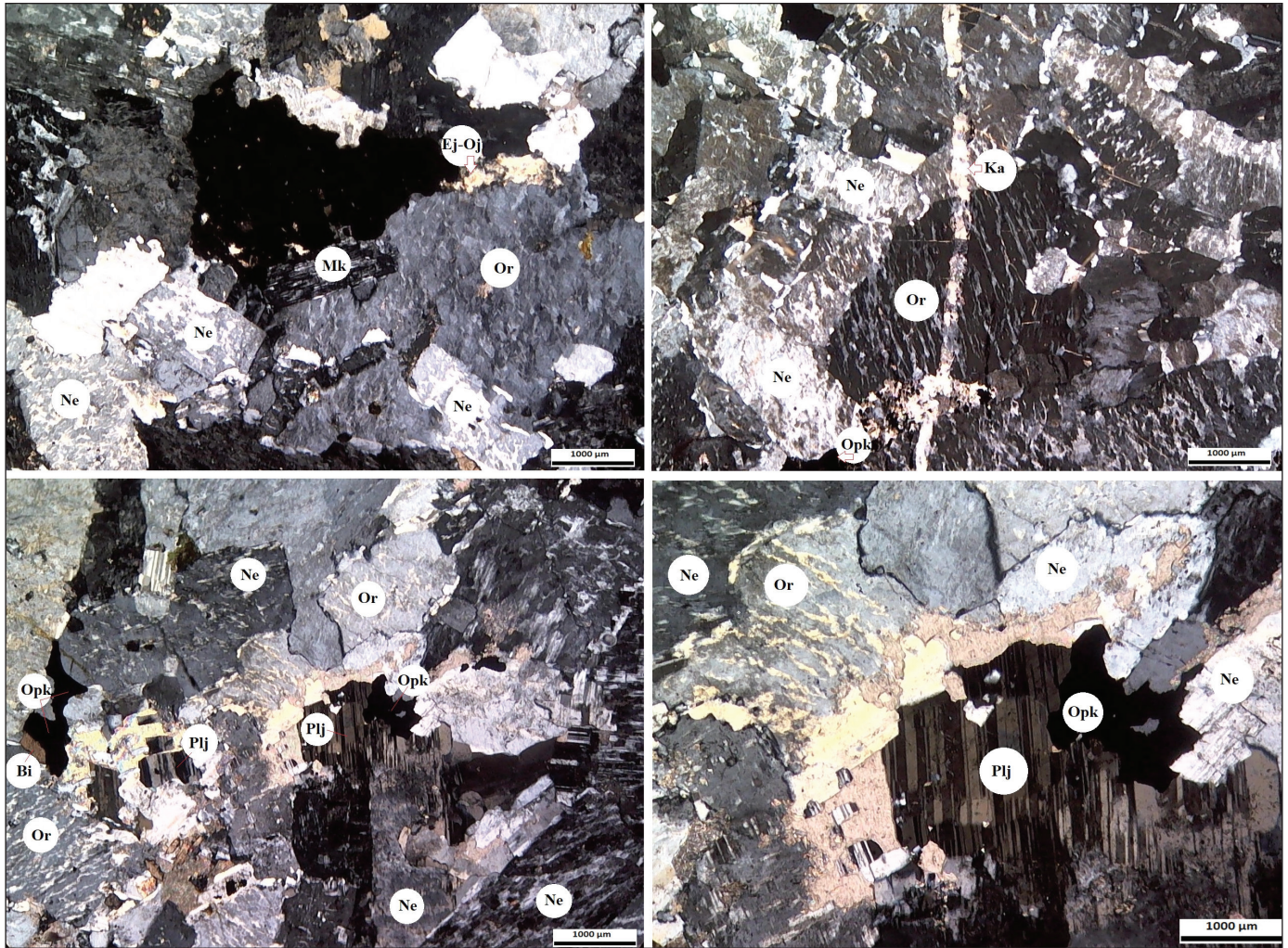
indeksi (HGI) ile Bond iş indeksi ( $W_i$ ) arasındaki ilişki Eşitlik 2 ile verilmiştir (Aplan 1996, Aplan vd. 1974).

$$W_i = 511/HGI^{0.96} \quad (2)$$

### 3. Bulgular

#### 3.1. Petrografik Özellikler

Nefelinli siyenit kayacına ait ince kesit görüntüleri Şekil 2 ve mineralojik bileşim ve tane boyutu Çizelge 2'de görülmektedir. Şekil 3 incelendiğinde, kayacın genellikle, eş tane boyutlu, tümüyle kristalli (equigranuler/holokristalin) doku egemendir. Nefelinler, yarı öz şekilli (subhedral), özşekilli (euhedral), köşeli, yarı köşeli tane/kristal tane şekline sahip, ikizlenme sunmayan, pürüzsüz taze yüzeyli, prizmatik kristaller şeklinde yer almaktadırlar. Ortoklaslar, yarı öz şekilli, yarı köşeli, pertitik (film pertit) yapılar/



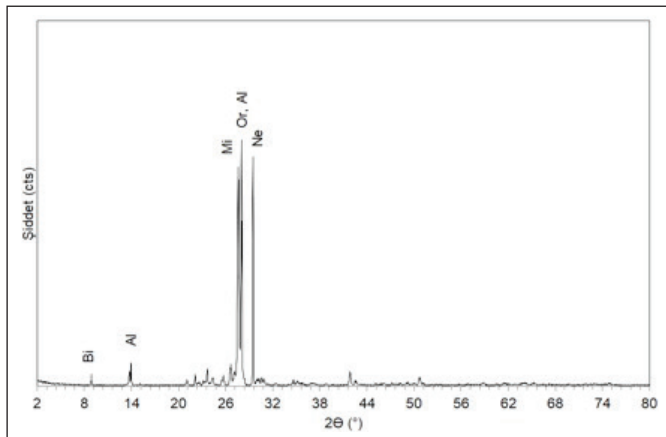
Şekil 3. Nefelinli siyenit örneğinin ince kesit görüntüleri (Ne: Nefelin, Or: Ortoklas, Plj: Plajiyoklas, Mk: Mikrolin, Bi: Biyotit, Opk: Opak mineral, Ej-Oj: Ejirin-Ojit) (Haner 2020).



eksolusyon yapıları içerir ve açık gri-bej birefrenjans renklerde dirler. İçerisinde kapanımlar şeklinde epidot, rutil tali oranda izlenmiştir. Çok hafif oranda serisitleşme ve lokal karsbad ikizlenmesi sunmaktadırlar. Plajiolklas, yarı öz şekilli, polisentetik ikizlenmeli, 10-12°lik sönüm açılara sahip albit kısmende oligoklas özelliğindedirler. Mikrolin, yarı öz şekilli, yarı köşeli, çift yönlü polisentetik ikizli, koyu gri-füme birefrenjans renk tonlarındadır. Biotit, yarı öz şekilli, çoğunlukla kloritleşmiş ve dilinimleri boyunca opaklaşmış kristaller şekliindedirler. Kloritleşme sonrasında birefrenjans renklerinde açık yeşil (çimen yeşili) ve açık kahve rengi-sarımsı renk tonları kazanmışlardır. Opak mineral, yarı köşeli, magmatik olarak aşındırılmış, kemirilmiş, körfez yapıları kazanmışlar ve lokal iskelet yapıları sunmaktadırlar. Çoğunlukla doku içinde saçınımlar şeklinde dağılım gösterirler ve görsel olarak manyetit olarak tanımlanmıştır. Ejirin-ojitler (klino piroksen), öz şekilsiz, parçalı-kırıklı, pseudomorfik relikte renkli, rölyefi yüksek parçacıklar şeklinde pleokroizmaları düşük veya yok ve yeşil renklerde izlenmektedirler (Haner 2020).

**Çizelge 2.** Nefelinli siyenit örneğinin ince kesitlerinden belirlenen mineralojik bileşimi ve tane boyları.

Mineral bileşimi	% Oran	Tane boyutu (mm)
Ortoklas	25-30	0.2-1.8
Mikrolin	10-15	0.15-1.25
Nefelin	30-35	0.25-3.3
Biyotit	4-5	0.15-0.85
Plajiolklas (albit-oligoklas)	8-10	0.15-0.4
Klino piroksen (ejirin-ojit)	3-7	0.15-0.25
Opak mineral	2-5	0.1-0.85



**Şekil 4.** Tüvenan nefelinli siyenitin X-ışınları kırınımı diyagramı (Bi: Biotit, Or: Ortoklas, Al: Albit, Ne: Nefelin, Mi: Mikrolin).

### 3.2. X-Işını Kırınımı (XRD) Analizi

Tüvenan nefelinli siyenite ait XRD analizi sonucu Şekil 4'de verilmiştir.

Şekil 4'deki XRD analizinde kayacın ana olarak nefelin, ortoklas, albit ve mikrolin minerallerinden oluştuğu görülmektedir. Bu ana mineraller dışında az miktarda biyotit minerali saptanmıştır.

### 3.3. Fiziko-Mekanik Özellikler

TS 699 standartlarına uygun olarak hazırlanan deney numunelerinde birim hacim ağırlık tayini, su emme ve porozite tayini gibi fiziksel testler ve nokta yükü dayanım indeksi, Schmidt yüzey sertliği, ultrasonik P dalga hızı ve tek eksenli basınç deneyi gibi mekanik testler yapılmıştır. Nefelinli siyenit örneklerinin fiziksel özellikleri Çizelge 3 ve mekanik özellikleri Çizelge 4'de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Nefelinli siyenitin fiziksel özellikleri.

Fiziksel özellikler	S	$X^{-}$
Birim hacim ağırlık ( $g/cm^3$ )	0.004	2.559
Atmosfer basıncında ağırlıkça su emme oranı (%)	0.034	0.260
Görünür porozite (%)	0.093	0.628

S: Standart sapma,  $X^{-}$ : Aritmetik ortalama.

Çizelge 3 incelendiğinde nefelinli siyenitin birim hacim ağırlığının  $2.559 g/cm^3$ , atmosfer basıncında ağırlıkça su emmenin %0.260, görünür porozitenin %0.628 olduğu belirlenmiştir. Deney sonuçlarından, birim hacim ağırlık deneyi sonuçlarının standart sapması 0.004, atmosfer basıncında ağırlıkça su emme deneyi sonuçlarının standart sapması 0.034, görünür porozite deneyi sonuçlarının standart sapması 0.093 olarak hesaplanmıştır.

Kayaçların mekanik özellikleri, kırma öğütme gibi boyut küçültme işlemlerinin veriminde önemli bir etkiye sahiptir. Bu sebeple, nefelinli siyenitin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Schmidt yüzey sertlik deneyi ISRM (1981)'ye göre, nokta yük dayanım indeksi, sonik hız (P dalga) deneyi ile tek eksenli basınç dayanımı deneyleri Türk Standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları topluca Çizelge 4'de verilmektedir.

Schmidt sertlik tayini, arazi ve laboratuvar ortamında, kayaçların sertliklerinin belirlenmesinde ve tek eksenli basma dayanımlarının dolaylı yoldan tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılan, kayacın bütünlüğüne zarar vermeyen bir test yöntemidir. Yapılan çalışmada, nefelinli siyenitin Schmidt sertlik değeri 43.30 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.** Nefelinli siyenitin mekanik özellikleri.

Mekanik özellikler	S	X <sup>-</sup>
Schmidt yüzey sertlik indeksi	4.27	43.30
Nokta yükü dayanım indeksi (MPa)	0.90	6.30
Sonik hız deneyi (P) (km/sn)	0.19	5.70
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	3.80	86.90

S: Standart sapma, X<sup>-</sup>: Aritmetik ortalama

Çizelge 4'de görüldüğü gibi, nefelinli siyenitin nokta yükü dayanım indeksi değeri 6.30 olarak belirlenmiştir.

Ultrasonik P dalga hızı deneyi, numuneye zarar vermeden kayaç halindeki numunenin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Prob tarafından üretilen elektriksel sinyalin mekanik titreşime dönüşmektedir. Kayaç numunesinin içerisine bu titreşim gönderilir ve alıcı tarafından veriler kaydedilir. Verici ve alıcı arasındaki süre hesaplanır. Sonik hız analizi, kayacın sahip olduğu mikro ve makro çatlaklar, mineralojik yapı, gözeneklilik, doku gibi fiziksel özelliklerin tahmini için yapılmaktadır. Gözenekliliği düşük, süreksizliği az ve homojen yapıya sahip olan kayaçlarda sonik hızı değerleri yüksek çıkmaktadır. Yapılan analiz neticesinde nefelinli siyenitin P dalga hızı 5.70 km/sn olarak bulunmuştur (Çizelge 4).

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi, kayacın deformasyon, dayanım ve yapısal özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan bir deney metodudur. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi, kaya örneğinin üzerine basma yükü uygulanması sonucunda kayacın kırılmasına kadar göstermiş olduğu dayanımı ifade eder. Nefelinli siyenitin tek eksenli basma dayanımı değeri 86.90 MPa olarak bulunmuştur (Çizelge 4).

Deney sonuçlarından, Schmidt yüzey sertlik indeksi deneyi standart sapması 4.27, nokta yükü dayanım indeksi deneyi standart sapması 0.90, sonik hız deneyi standart sapması 0.19 ve tek eksenli basınç dayanımı deneyi standart sapması 3.80 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4).

### 3.4. Isıl Davranış

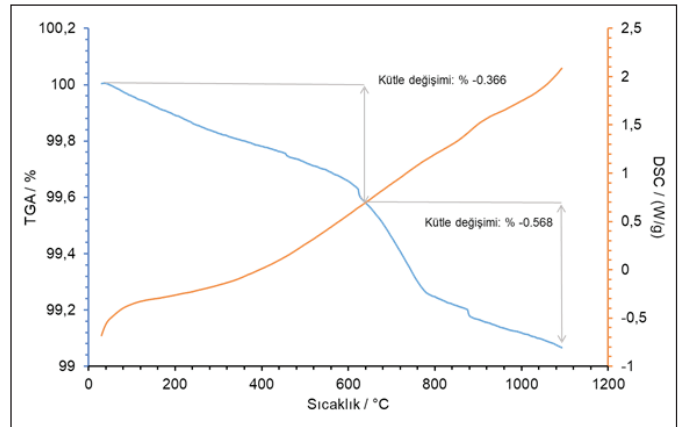
Çizelge 5 ve Şekil 5'te, nefelinli siyenit örneğine ait pişme rengi değerleri ve numunesi görülmektedir. Nefelinli siyenitin, L (açıklık koordinatı) değeri 69.14, a (kırmızı/yeşil koordinatı) değeri 0.59 ve b (sarı/mavi koordinatı) değeri 7.25'dir.

**Çizelge 5.** Nefelinli siyenitin 1200°C'deki pişme rengi değerleri.

L	a	b
69.14	0.59	7.25

**Şekil 5.** Nefelinli siyenitin 1200°C'deki pişme rengi numunesi.

Tüvenan nefelinli siyenitin termogravimetrik ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC/TGA) analizleri hava atmosferde 10°C.dk<sup>-1</sup> ısıtma hızında 1100°C sıcakta gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.

**Şekil 6.** Tüvenan nefelinli siyenitin DSC/TGA termogramları.

### 3.5. Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi (HGI)

Nefelinli siyenit örneğinin Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanan Hardgrove indeksi (HGI) 56.66 olarak belirlenmiştir. HGI değerinden Eşitlik 2 ile hesaplanan Bond iş indeksi (W<sub>i</sub>) değeri de 10.60 kW<sub>s</sub>/t'dur.

## 4. Tartışma

Tüvenan hammadde incelendiğinde, demir oksit içeriğinin %1.60 olduğu görülmektedir. Seramik bünyelerin pişme işlemi esnasında oksitleyici atmosfer nedeniyle demir (II) demir (III)'e yükseltgenerek bünyeyi sarıya boyayabilir (Vi-

eira vd. 2006). Bu haliyle tüvenan nefelinli siyenitin seramik veya cam sektöründe kullanılması mümkün görülmemektedir. Cam yapımında genellikle -40+200 mesh tane boyutunda kaba öğütülmüş nefelinli siyenit kullanılmakta olup, ortalama  $>23 \text{ Al}_2\text{O}_3$ ,  $>14 \text{ Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  ve  $<0.1 \text{ Fe}_2\text{O}_3$  olmalıdır. Ancak koyu cam ve fiberglasta  $<0.35 \text{ Fe}_2\text{O}_3$  içeriği kabul edilebilir (Ciullo 1996, McLemore 2006). Tesisin piyasaya satmakta olduğu zenginleştirilmiş nefelinli siyenitin demir içeriğinin %0.29'a kadar indirildiği bilinmektedir. Zenginleştirilmiş olarak seramik ve cam endüstrilerinde kullanıma uygundur. Tesiste tüvenan nefelinli siyenite, çeneli kırıcı ve çubuklu değirmende (10 ton döküm bilya, sulu ortamda) boyut küçültme işlemleri uygulanmaktadır. Daha sonra 1100 Gauss şiddetinde 15 ton/saat kapasiteli yaş manyetik ayırma ve 6 ton/saat kapasiteli kurutma işlemleri uygulanmaktadır. Kurutulan hammaddeye 12000 Gauss şiddetinde 10 ton/saat kapasiteli kuru manyetik ayırma uygulanmakta ve nefelinli siyenit piyasa sürülmektedir.

İnce kesit incelemelerinde, nefelinli siyenite ait kayaç örneğinin genel olarak nefelin, ortoklas, mikrolin, plajioloklas, klino piroksen, biyotit ve opak mineralleri içerdiği görülmüştür. Bu kristallerin tane boyutu sırasıyla, 250-3300  $\mu\text{m}$ , 200-1800  $\mu\text{m}$ , 150-1250  $\mu\text{m}$ , 150-400  $\mu\text{m}$ , 150-250  $\mu\text{m}$ , 150-850  $\mu\text{m}$  ve 100-850  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir. XRD analizi sonucu ince kesit analizini destekler niteliktedir. XRD analizi sonucunda nefelin, ortoklas, mikrolin, albit ve biyotit tespit edilmiştir. Kayaçın XRD analizi sonucunda tespit edilen fazlar, kimyasal analiz ve petrografik analiz ile de örtüşmektedir.

Kayaçın görünür porozite değeri %0.628 olarak belirlenmiştir. Moos ve Quervain (1948)'in yapmış olduğu, kayaçların porozite oranına göre sınıflandırmasında (Çizelge 6) kayaçın "çok kompakt" kayaç sınıfına girdiği görülmektedir.

**Çizelge 6.** Kayaçların porozite değerlerine göre sınıflandırılması (Moos vd. 1948).

Kayaç sınıfı	Porozite (%)	Akpınar nefelinli siyeniti
Çok kompakt	< 1	0.628
Az boşluklu	1-2.5	
Orta boşluklu	2.5-5	
Oldukça boşluklu	5-10	
Çok boşluklu	10-20	
Çok fazla boşluklu	> 20	

Nefelinli siyenitin Schmidt sertlik değeri 43.30 olarak tespit edilmiştir. ISRM (1981) tarafından yapılmış olan

belirlemeye göre bu kayaçın "sert" kayaç sınıfına girdiği görülmüştür (Çizelge 7).

**Çizelge 7.** Kayaçların Schmidt sertliğine göre sınıflandırılması (ISRM 1981).

Kaya sınıfı	Schmidt yüzey sertlik değeri	Akpınar nefelinli siyeniti
Fevkalade yumuşak	16-20	
Çok yumuşak	20-24	
Yumuşak	24-30	
Sert	30-45	43.30
Çok sert	45-60	
Fevkalade sert	> 60	

Nefelinli siyenitin nokta yükü dayanım indeksi değeri 6.30 olarak belirlenmiştir. Bieniawski (1975) tarafından yapılmış olan belirlemeye göre bu kayaçın "yüksek dayanımlı" kayaç sınıfına girdiği görülmüştür (Çizelge 8).

**Çizelge 8.** Kayaçların nokta yük dayanımlarına göre sınıflandırılması (Bieniawski 1975).

Kaya sınıfı	Nokta yük dayanımı (MPa)	Akpınar nefelinli siyeniti
Çok yüksek dayanımlı	> 7.845	
Yüksek dayanımlı	7.845-3.923	6.30
Orta dayanımlı	3.923-1.961	
Düşük dayanımlı	1.961-0.981	
Çok düşük dayanımlı	< 0.981	

Nefelinli siyenitin P dalga hızı 5.70 km/sn olduğu tespit edilmiştir. Anonim (1979) tarafından yapılmış olan belirlemeye göre bu kayaçın "çok yüksek hıza sahip" kayaç sınıfına girdiği görülmüştür (Çizelge 9).

**Çizelge 9.** P dalga hızı sınıflaması (Anonim 1979).

Sınıf	Dalga hızı (km/sn)	Tanımlama	Akpınar nefelinli siyeniti
1	< 2.5	Çok düşük hız	
2	2.5-3.5	Düşük hız	
3	3.5-4.0	Orta hız	
4	4.0-5.0	Yüksek hız	
5	> 5.0	Çok yüksek hız	5.70

Kayaçın tek eksenli basma dayanımı 86.90 MPa olarak bulunmuş olup, Deere ve Miller (1966) tarafından yapılmış olan belirlemeye göre, "orta dirençli" kayaç sınıfına girdiği görülmüştür (Çizelge 10).



**Çizelge 10.** Kayaçların tek eksenli basma dayanımına göre sınıflandırılması (Deere vd. 1966).

Kaya sınıfı	Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	Akpınar nefelinli siyeniti
Çok düşük dirençli	< 25	
Düşük dirençli	25-50	
Orta dirençli	50-100	86.90
Yüksek dirençli	100-200	
Çok yüksek dirençli	> 200	

Nefelinli siyenitin, L değeri 69.14'dür ve beyaz/açık değere yakındır. a değeri 0.59'dur ve kırmızı-yeşil bileşen değeri nõtüre yakındır. b değeri 7.25'dir ve sarı bileşen daha yoğundur. L\*, a\*, b\* sonuçlarından, b\* değerinde sarı renk aralığında oluşan renklerin numunenin içerisindeki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi safsızlıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 6 incelendiğinde TGA eğrisinde üç reaksiyon gerçekleşmiştir. Yaklaşık 450°C ve 640°C'deki bu pikler kuvvetli bağlanmış kristal su moleküllerinin uzaklaştığını göstermektedir. TGA eğrisinde 640°C'ye kadar %0.366'lık kütle kaybı olmuştur. TGA eğrisinde 1100°C'ye kadar ki toplam kütle kaybı %0.934'dir. TGA ve DSC eğrilerinde yaklaşık 880°C'de bir pik görülmektedir. Bu, karbonatların bozunmasını gösteren piktir.

HGI ve Bond iş indeksi değerlerinden zor öğütülebilir bir malzeme olduğu sonucuna varılmıştır. Dayanım özellikleriyle öğütülebilirlik özellikleri ilişkilidir. Literatürde kayaçların teknik özellikleri ile kırılma parametreleri arasındaki ilişkiyi açıklayan çalışmalar mevcuttur (Kılıç vd. 2019, Özer 2006). Öğütülebilirlik, malzemenin kristal yapısı, bu yapının içindeki kristal ve fiziksel yapı bozuklukları ile de ilişkilendirilebilir. Ayrıca hammadde, kırma ve öğütme gibi boyut küçültme işlemlerine karşı, sahip olduğu mekaniksel ve elastik özellikleri ölçüsünde karşı koyabilmektedir. Mekaniksel test sonuçlarına göre sert, yüksek dayanımlı ve orta dirençli kaya sınıfına girdiği görülen nefelinli siyenitin, HGI ve Bond iş indeksi değeriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Nefelinli siyenitin öğütülebilirlik değerleri, seramik sektörü tarafından hâlihazırda kullanılan feldispatik hammaddelerin iş indeksleri değerleri ile kıyaslandığında öğütme esnasında enerji tasarrufu sağlayacağı açıktır.

Seramik ve cam endüstrisinde yüzlerce yıldır feldispatik malzemeler ergitici olarak rol oynamaktadır. Dünya genelinde feldispatın elliden fazla ülkede üretimi yapıldığı bilinmektedir. Türkiye'nin bu rekabet ortamında ayrı bir

yeri bulunmaktadır. Çok kaliteli feldispat yatakları bulunan Türkiye aynı zamanda dünya feldispat rezervinin yaklaşık %14'ünü de sahiptir. Ticari feldispat kaynağı olarak granitik kayaç, nefelinli siyenit, altere granit, granit kum ve pegmatit üretilmektedir. Bu feldispat kaynakları içerisinde, nefelinli siyenitin sahip olduğu özellikler ve ekonomik değer ayrıca ele alınmalıdır. Nefelinli siyenit, cam üretimi için gerekli olan alümina ve alkalinin ucuz bir kaynağıdır. Dolayısıyla hammadde maliyetini azaltmaktadır. Cam ve seramik endüstrilerinde nefelinli siyenite en etkili rakip feldispattır. Feldispat ve nefelinli siyenit arasındaki seçimde ulaşım ve konum maliyetleri göz önünde bulundurulur. Türkiye'de cam ve seramik sektörlerinde nefelinli siyenitin kullanımı pahalı bulunmakta ve yerine diğer feldispatik malzemeler kullanılmaktadır. Bu nedenle zenginleştirme ürünü nefelinli siyenit çeşitli ülkelere ihraç edilmektedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde 118M224 numaralı proje ile maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

## 6. Kaynaklar

- Anonim, 1979.** Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part I-Rock and Soil Materials. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.* 19:364-371. Doi: 10.1007/BF02600503.
- Aplan, F. F. 1996.** The hardgrove test for determining the grindability of coal. In Lecture Note on MN PR 301:Elements of Mineral Processing, Department of Energy&Geo-environmental Engineering, Pennsylvania State University, State College, Pennsylvania, pp. 92-93.
- Aplan, F. F., Austin, L. G., Bonner, C. M., Bhatia, V. K. 1974.** A Study of Grindability Tests, Report to U.S. Bureau of Mines, Project G0111786.
- Bieniawski, Z. T. 1975.** The point load test in geotechnical practice, *Engineering Geology* 9(1): 1-11. Doi: 10.1016/0013-7952(75)90024-1.
- Carter, C. B., Norton, M. G. 2007.** Ceramic Materials Science and Engineering, Springer: Electronic book, e-ISBN-10: 0-387-46271-6.
- Ciullo, P. A. 1996.** Industrial Minerals and Their Uses. Noyes Publications, New Jersey, No: 96-29173, 632 s.
- Deere, DU., Miller, RP. 1966.** Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock. Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana, 300.
- Eurofel 2011.** Feldspar. European Association of Feldspar Producers. [https://www.ima-europe.eu/sites/ima-europe.eu/files/minerals/Feldspar\\_An-WEB-2011.pdf](https://www.ima-europe.eu/sites/ima-europe.eu/files/minerals/Feldspar_An-WEB-2011.pdf).

- Haner, S. 2020.** The effects of ball size on the determination of breakage parameters of nepheline syenite. *J. Min. Sci.* 56(5):848-856.
- Haner, S., Demir, M. 2018.** Nefelinli siyenit: bir gözden geçirme. *Jeol. Mühendisliği Derg.* 42(1):107-120. Doi: 10.24232/jmd.434144.
- ISRM 1981.** in: Brown, E.T. (ed), 1981. Rock Characterization Testing and Monitoring. ISRM Suggested Methods. Pergamon, Oxford.
- Kılıç, A., Teymen, A., Özdemir, O., Atiş, C.D. 2019.** Estimation of compressive strength of concrete using physico-mechanical properties of aggregate rock. *Iran J. Sci. Technol. Trans. Civ. Eng.* 43:171-178. Doi: 10.1007/s40996-018-0156-6.
- McLemore, V.T. 2006.** Nepheline syenite, Kogel J.E., Trivedi N.C., Barker J.M., Krukowski S.T. [eds.]. *Industrial Minerals & Rocks* (7th Edition). Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Colorado, s. 653-670.
- Moos, A. V., Quervain, F. D. 1948.** *Technische Gesteinkunde*, Verlag Birkhauser, Basel.
- Özer, Ü., Çabuk, E. 2006.** Bond iş indeksi ve kaya parametreleri arasındaki ilişki. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi* 20(1): 42-49.
- Tanner, A. O. 2015.** Feldspar and nepheline syenite, 2013. Minerals yearbook, U.S. Geological Survey. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/feldspar/myb1-2013-felds.pdf>.
- Tuzcu, N. 1992.** Petrografi-I (Magmatik Kayaçlar). 3. Basım, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, Sayı: 100, 222 s.
- TÜİK 2021.** Dış Ticaret İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. [https://iz.tuik.gov.tr/#/showcase/SC-2851FY777F34D2R/db-3dy3w51uv130f9g?filters=18792%3D2019%2618792%3D2020%2619324%3D252930000000%20-%20L%C3%B6sit%252C%20nefelin%20ve%20siyenit%20nefelin%20-%20\(KG\)&mode=&token=8d79727fff862a891ce574d27220bfebbf66fed](https://iz.tuik.gov.tr/#/showcase/SC-2851FY777F34D2R/db-3dy3w51uv130f9g?filters=18792%3D2019%2618792%3D2020%2619324%3D252930000000%20-%20L%C3%B6sit%252C%20nefelin%20ve%20siyenit%20nefelin%20-%20(KG)&mode=&token=8d79727fff862a891ce574d27220bfebbf66fed).
- Vieira, C. M. F., Peçanha, L. A., Monteiro, S. N. 2006.** Effect of kaolinitic clays from the state of Rio de Janeiro in the composition of whiteware floor tile bodies. *Ceramica* 52: 138-145. Doi: 10.1590/S0366-69132006000200004.



# Yapay Besin Ortamında Yetiştirilen Model Böcek *Galleria mellonella*'nın Farklı Yaşam Evrelerindeki Mikrobiyal Floranın Belirlenmesi

*Determination of Microbial Flora of Model Insect Galleria mellonella in Different Life Forms Reared on Artificial Diet*

Serkan Sugeçti\*

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Çaycuma Gıda ve Tarım Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Zonguldak, Türkiye

## Öz

Model böcekler düşük üretim maliyeti, etik sorunlar ve laboratuvar koşullarında kolay kültüre alınabilmesi nedeniyle tıp, eczacılık ve veterinerlik gibi birçok alanda omurgalı deney hayvanlarına alternatif deneysel model olarak kullanılmaktadır. Model böceklerin laboratuvar koşullarında yapay besin ortamında üretilmesi sırasında en çok karşılaşılan sorun bakteri, maya ve küf kontaminasyonudur. Bu çalışmada model böcek *Galleria mellonella*'nın farklı yaşam evrelerinde dört gram negatif ve üç gram pozitif olmak üzere yedi farklı bakteri türü *in vitro* olarak tanımlandı. Mikrofungus cinsleri; *Alternaria spp.*, *Aspergillus spp.*, *Beauveria sp.*, *Penicillium spp.* ve *Verticillium sp.* olarak belirlendi. Yaşam evrelerinde en fazla koloni sayısı *Aspergillus ve Penicillium* cinsine ait türlerde tanımlanırken, en az koloni sayısının ise *Verticillium* cinsine ait olduğu belirlendi. Bu çalışma yapay besin ortamında mikrofloranın tanımlanması ve laboratuvar koşullarında böcek üretim alanlarının standardize edilmesi açısından oldukça önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** *Galleria mellonella*, Mikroflora, Mikrofungus, Model böcek, Yapay besin

## Abstract

Model insects are used as an alternative experimental model to vertebrate experimental animals in many fields such as medicine, pharmacy and veterinary medicine due to their low production cost, ethical problems and easy culture in laboratory conditions. The most common problem encountered during the production of model insects in artificial diet under laboratory conditions is bacteria, yeast and mold contamination. In this study, seven different bacterial species, four gram negative and three gram positive, were identified *in vitro* in different life stages of the model insect *Galleria mellonella*. As microfungus genera *Alternaria spp.*, *Aspergillus spp.*, *Beauveria sp.*, *Penicillium spp.* and *Verticillium sp.* The highest number of colonies in their life stages is defined as the species belonging to the genus *Aspergillus* and *Penicillium*, while the least belong to the genus *Verticillium* determined. This study is very important in terms of defining microflora in artificial diet and standardizing production areas of insects under laboratory conditions.

**Keywords:** *Galleria mellonella*, Microflora, Microfungus, Model insect, Artificial diet

## 1. Giriş

Son yıllarda model böcekler düşük üretim maliyeti, etik sorunlar ve laboratuvar koşullarında kolay kültüre alınabilmesi nedeniyle pestisit araştırmaları, patojen mikroorganizmaların virülans seviyelerinin değerlendirilmesi ve patojenlere karşı geliştirilen ilaçların etkinliğinin araştırılması gibi birçok alanda omurgalı deney hayvanlarına alternatif deneysel model olarak kullanılmaktadır (Sugeçti vd. 2016, Rossoni vd. 2019). En çok tercih edilen model organizmalar,

Lepidoptera takımına ait *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae), *Manduca sexta* L. (Lepidoptera, Sphingidae), *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) gibi böcek türleridir (Zou vd. 2017, Noor-ul-Ane vd. 2018, Gegner vd. 2019, Santorum vd. 2019, Vertyporokh ve Wojda 2020). Bu model böcekler arasında yaşam döngüsünün kısa olması, larvalarının yüzey alanının geniş olması ve doğuştan gelen bağışıklık sisteminin memelilerin bağışıklık sistemine benzerlik göstermesi nedeniyle *G. mellonella* öne çıkmaktadır (Djainal vd. 2020, Shaik vd. 2020, Lapointe vd. 2020).

*G. mellonella*'nın model organizma olarak birçok alanda kullanılması steril yapay besinlerin önemini arttırmıştır. G.

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

Serkan Sugeçti orcid.org/0000-0003-3412-2367

*mellonella* yapay besini; nem, sıcaklık ve beslenme koşulları açısından mikroorganizmalar için ideal bir çoğalma ortamıdır. Yapay besinlerde maya ve küfler en çok rastlanan kontaminasyon etmenleridir ve bu kontaminasyonların engellenmesi oldukça zordur. Böceklerin büyüme, yaşama, gelişme, ergin oluşumu ve erginleşen bireylerin bazı özellikleri besin kalitesiyle doğrudan ilişkilidir (Büyükgüzel vd. 2010, Aslan vd. 2019). Bu nedenle; antibakteriyel ve antifungal maddeler, beslenme çalışmaları sırasında yapay besinlerde oluşabilecek kontaminasyonlardan böceği koruyarak yüksek kalitede ergin bireyler yetiştirmek için oldukça önemlidirler (Büyükgüzel ve Büyükgüzel 2016). *G. mellonella* yapay besin üzerinde patojen kontaminasyonları engellemek amacı ile ilave edilen antibakteriyel, antiviral, antihelmintik ve antifungal ajanlar ile çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Yapay besine farklı konsantrasyonda ilave edilen bu antibiyotiklerin, *G. mellonella*'nın farklı yaşam formlarında olumsuz fizyolojik ve biyokimyasal etkilere neden olduğu tespit edilmiştir (Büyükgüzel ve Kalender 2009; Kılıç ve ark. 2015; Sugeçti vd. 2016, Sugeçti ve Büyükgüzel 2018). Bu çalışmada; model böcek *G. mellonella*'nın farklı yaşam evreleri üzerinde bulunan mikrofloranın ve bulaşma yollarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Böcek Kültürü ve Örneklerinin Hazırlanması

Bu çalışmada Bronskill (1961) tarafından geliştirilen yapay besin kullanıldı. *G. mellonella* larvaları,  $28 \pm 2$  °C sıcaklıkta ve  $65 \pm 5$  bağıl neme ayarlı bir inkübatörde sürekli karanlık ortamda yetiştirildi. *G. mellonella* larva, pupa ve ergin evreleri laboratuvar koşullarında daha önce yürütülen çalışmalarda kullanılan teknikler kullanılarak elde edildi (Büyükgüzel vd. 2010, Sugeçti vd. 2016). Elde edilen *G. mellonella* larva, pupa ve ergin evrelerinden beşer birey alınarak, 10 ml izotonik çözelti içerisinde vortekslenildi ve örnekler hazırlandı.

### 2.2. Bakteri Florasının İzolasyonu ve Tanımlanması

Sıvı ortamdan 200 µl alınarak örnekler, koyun kanlı agara (%5 koyun kanlı agar, BD, Amerika) Eozin Metilen Mavisi agara (E.M.B, BD, Amerika), çikolata agara (BD, Amerika) steril eküvyon çubukları ile seyreltme yöntemi kullanılarak ekildi. Besiyerlerine ekimleri yapılan örnekler etüvde 37 °C derecede 24 saat inkübe edildi. Elde edilen kolonilere oksidaz ve indol testi uygulandı. Koloniler morfolojik ve biyokimyasal parametreleri göz önünde bulundurularak Gram (+) ve Gram (-) tanımlama panellerine ayrıldı. Yarı otomatik bakteri tanımlama cihazı (BD BBL Crystal E/

NF. ABD) ile tür tanımlaması yapıldı. Cihazın hassasiyeti % 95 üzeridir. Tür tanımlaması için koloniler 2 ml BD BBL Crystal Enteric/Stool Inoculum Sıvı tüpünde homojen olarak dağıtıldı. Daha sonra solüsyon tanımlama test paneline döküldü ve 24 saat süreyle 37 °C'de inkübasyonu sağlandı. İnkübasyon sonucunda değerlendirilen yarı otomatize bakteri tanımlama panelleri, BDMSID programında değerlendirmeye alınarak türler belirlendi

### 2.3. Mikrofungus Florasının İzolasyonu ve Tanımlanması

İzolasyon ve tanımlama için ilk besiyeri olarak Rose-bengal-Streptomisin ilaveli Pepton Dekstroz Agar kullanıldı (Asan vd. 2004). Daha sonra sıvı ortamdan 200 µl alınan örnekler Rose Bengal- Streptomisin Agara (Sigma Aldrich, Missouri, ABD), Malt Ekstrakt Agara (Merck, Almanya) ve Czapek Agara (Merck, Almanya) yüzeye yayma yöntemi kullanılarak ekildi (Larone Davise, 1993; Pitt, 2000; Samson ve Pitt, 2000; Ellis vd. 2007).

İnkübasyon (27 °C' de 7 gün) dönemi sonunda gelişen fungus kolonilerin makroskopik ve mikroskopik kriterleri incelendi ve tanımlamaları yapıldı. İzole edilen fungusların teşhislerinde; Domsch vd. (1980), Hasenekoğlu (1991), Pitt (2000), Samson ve Pitt (2000), Ellis vd. 2007, Pitt ve Hocking (2009) ve Watanabe (2010) mikoloji ile ilgili teşhis anahtarlarından yararlanıldı.

## 3. Bulgular

Bu çalışmada, *G. mellonella* yaşam formlarının *in vitro* olarak bakteri ve mikrofungus florasının izolasyonu ve tanımlamaları yapıldı. *G. mellonella* üzerinde bulunan mikroflora *in vitro* olarak belirlendi.

Bu çalışmada 6 cinse ait 4 gram negatif ve 3 gram pozitif olmak üzere *G. mellonella* yaşam evrelerinde 7 farklı bakteri türü *in vitro* olarak tanımlandı. Böceğin larva evresinde; *Citrobacter freundii*, *Staphylococcus hominis*, *Shigella* spp., pup evresinde; *Burkholderia cepacia*, *Corynebacterium genitalium*, *Staphylococcus hominis*, *Pseudomonas putida*, *Citrobacter freundii* ve ergin evresinde ise *Staphylococcus xyloso* ve *Pseudomonas putida* türleri tanımlandı (Çizelge 1).

Çalışmada, tamamı Ascomycota şubesinde olmak üzere 5 cinse ait mikrofungus türleri belirlenmiş olup bu cinsler; *Alternaria* spp. (% 23, 53), *Aspergillus* spp. (% 29,41), *Beauveria* sp. (% 11,41), *Penicillium* spp. (% 29,41) ve *Verticillium* sp. (% 5,88) olarak belirlendi. Yaşam formlarında en fazla koloni sayısı *Aspergillus* (n=5, % 29,41) ve *Penicillium* (n=5, % 29,41) cinsine ait türlerdir. En az tanımlanan türün *Verticillium* (n=1, % 5,88) cinsine ait olduğu tespit edildi.



**Çizelge 1.** *G. mellonella*'nın farklı yaşam evrelerinde tanımlanan bakteri türleri.

Evre	Familiya	Tanımlanan Bakteri Türleri	Gram Pozitif/Negatif
Larva	<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Citrobacter freundii</i>	Gram (-)
	<i>Staphylococcaceae</i>	<i>Staphylococcus hominis</i>	Gram (+)
	<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Shigella spp.</i>	Gram (-)
Pup	<i>Burkholderiaceae</i>	<i>Burkholderia cepacia</i>	Gram (-)
	<i>Corynebacteriaceae</i>	<i>Corynebacterium genitalium</i>	Gram (+)
	<i>Staphylococcaceae</i>	<i>Staphylococcus hominis</i>	Gram (+)
	<i>Pseudomonadaceae</i>	<i>Pseudomonas putida</i>	Gram (-)
	<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Citrobacter freundii</i>	Gram (-)
Ergin	<i>Staphylococcaceae</i>	<i>Staphylococcus xylosus</i>	Gram (+)
	<i>Pseudomonadaceae</i>	<i>Pseudomonas putida</i>	Gram (-)

**Çizelge 2.** *G. mellonella*'nın farklı yaşam evrelerine göre mikrofungus cinsine ait tür sayıları (n) ve yüzdesi (%)

Yaşam formları	Larva		Pup		Ergin		Toplam	
	n	%	n	%	n	%	n	%
<i>Alternaria ssp.</i>	1	5,88	1	5,88	2	11,76	4	23,53
<i>Aspergillus ssp.</i>	2	11,76	2	11,76	1	5,88	5	29,41
<i>Beauveria sp.</i>	1	5,88	1	5,88	0	0,00	2	11,76
<i>Penicillium ssp.</i>	1	5,88	3	17,65	1	5,88	5	29,41
<i>Verticillium sp.</i>	0	0,00	0	0,00	1	5,88	1	5,88
<b>Toplam</b>	5	29,41	7	41,18	5	29,41	17	100,00

Yaşam formlarına göre ise larva (% 29,41), pup (%41,18) ve ergin (%29,41) olarak belirlendi. Pup evresinde mikrofungal kontaminasyonun daha yüksek olduğu tespit edildi (Çizelge 2 ve 3).

#### 4. Tartışma

Böceklerin deneysel model olarak kullanmak amacıyla laboratuvar koşullarında toplu olarak üretilmesi, besin kontaminasyonu, yeni açılan yumurtaların sterilizasyonunun sağlanması gibi birçok mikrobiyolojik kökenli problemi ortaya çıkarmıştır. Model böceklerin stok kültürlerinin oluşturulmasında yapay besinlerin mikrobiyal kontrolünün sağlanması en zahmetli aşamalardan biridir. Yapay besin ortamının sıcaklık ve nem koşulları, küf, mantar, maya ve bakteriler dahil olmak üzere mikrobiyal büyüme için oldukça idealdir. Son yıllarda *G. mellonella* larvalarının farklı alanlarda model böcek olarak kullanılması, yapay besinlerde mikrobiyal kontaminasyonların tespit edilmesi ve böceğin fizyolojisini minimum düzeyde etkileyecek şekilde kontaminasyonların engellenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada yapay besin ortamında *G. mellonella* larva, pup ve erginlerinde *Staphylococcus spp.* cinsine ait iki farklı bakteri türleri belirlendi. Böceğin larva

ve pup evresinde *S. hominis*, ergin evresinde ise *S. xylosus* bakteri türleri tanımlandı. Bu çalışmada ayrıca, 5 farklı cinsine ait mikrofungus türü tespit edildi. En fazla *Aspergillus* cinsine ait türlerin oluşturduğu koloniler belirlendi. Daha önce yapılan çalışmalarda *Aspergillus niger*'in, kontrolü en zor olan en sık karşılaşılan küf olduğu bildirilmiştir (Singh ve Bucher 1971, Gifawesen vd. 1975). Bu nedenle özellikle *Aspergillus* cinsine ait türlerin yapay besinlerde üremesinin engellenmesi oldukça önemlidir. Yapılan bir çalışmada, *Cnaphalocrocis medinalis* (Güenée) (Lepidoptera: Crambidae) yapay besinine çeşitli küf inhibitörleri eklenerek *Aspergillus niger* (van Tieghem) (Euroiales: Trichocomaceae) kontaminasyonları engellenmeye çalışılmıştır. Sorbik asit ve metil parafen gibi küf inhibitörleri yapay besine ilave edilerek küf kontaminasyonunun engellendiği bildirilmiştir. Fakat bu çalışmada yapay besine ilave edilen küf inhibitörlerinin böceğin biyolojik parametreleri üzerinde olumsuz etki yaptığı tespit edilmiştir (Su vd. 2014). Mikrobiyal kontaminasyonun engellenmesi için kullanılan ajanların böceğin fizyolojisini olumsuz yönde etkilememesi oldukça önemlidir. Bu amaç ile yapılan başka bir çalışmada; *G. mellonella* yapay besinine farklı konsantrasyonlarda (%0,001; 0,01; 0,1 ve 1) antifungal bir ajan olan terbinafin

**Çizelge 3.** *G. mellonella*'nın farklı yaşam evrelerinde belirlenen mikrofungus türleri

Evre	Mikrofungus		Teşhis anahtarı
	Cins	Tür	
Larva	<i>Alternaria</i>	<i>Alternaria alternata</i>	Hasenekoğlu, (1991); Pitt ve Hocking (2009)
	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Hasenekoğlu, (1991); Samson ve Pitt (2000)
	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus niger</i>	Hasenekoğlu, (1991); Samson ve Pitt (2000)
	<i>Beauveria</i>	<i>Beauveria bassiana</i>	Domsch vd. (1980); Watanabe (2010)
	<i>Penicillium</i>	<i>Penicillium verruculosum</i>	Hasenekoğlu, (1991); Pitt (2000)
Pup	<i>Alternaria</i>	<i>Alternaria alternata</i>	Hasenekoğlu, (1991); Pitt ve Hocking (2009)
	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus</i> sp.	Hasenekoğlu, (1991); Samson ve Pitt (2000)
	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus niger</i>	Hasenekoğlu, (1991); Samson ve Pitt (2000)
	<i>Beauveria</i>	<i>Beauveria bassiana</i>	Domsch vd. (1980); Watanabe (2010)
	<i>Penicillium</i>	<i>Penicillium verruculosum</i>	Hasenekoğlu, (1991); Pitt (2000)
	<i>Penicillium</i>	<i>Penicillium</i> sp.	Hasenekoğlu, (1991); Pitt (2000); Pitt ve Hocking (2009)
	<i>Penicillium</i>	<i>Penicillium</i> sp.	Hasenekoğlu, (1991); Pitt (2000); Pitt ve Hocking (2009)
Ergin	<i>Alternaria</i>	<i>Alternaria alternata</i>	Hasenekoğlu, (1991); Pitt ve Hocking (2009)
	<i>Alternaria</i>	<i>Alternaria</i> sp.	Hasenekoğlu, (1991); Pitt ve Hocking (2009)
	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus niger</i>	Hasenekoğlu, (1991); Samson ve Pitt (2000)
	<i>Penicillium</i>	<i>Penicillium verruculosum</i>	Hasenekoğlu, (1991); Pitt (2000)
	<i>Verticillium</i>	<i>Verticillium</i> sp.	Hasenekoğlu, (1991); Watanabe (2010)

eklenmiştir. Bu çalışmada en düşük dozda terbinafinin böceğin fizyolojisini olumsuz yönde etkilemediği ve yapay besinlerde mikrobiyal kontaminasyonu engellemek için kullanılabilceği bildirilmiştir (Kastamonuluoğlu vd. 2020). Yapılan başka bir çalışmada *G. mellonella* yapay ve doğal besininde patojen bakteri *S. aureus* popülasyonu ile maya ve küf miktarının oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada diyete ilave edilen asiklovirin yapay besin ortamındaki mikrobiyal yükü azalttığı belirtilmiştir (Büyükgüzel ve Büyükgüzel 2016).

Özellikle son yıllarda *G. mellonella* larvalarının infeksiyon modeli olarak tıp alanında yaygın olarak kullanılması, pup evresinin ise biyolojik mücadele çalışmalarında kullanılan parazitoidlerin kitle üretiminde tercih edilmesi yapay besin ortamında mikrobiyal floranın belirlenerek engellenmesinin önemini arttırmıştır. Laboratuvar koşullarında böcek üretim alanlarının standardize edilmesi, larvaların gelişiminde muhtemel kontaminasyonların direkt veya dolaylı etkilerinin ortadan kaldırılmasında oldukça önemlidir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmada mikrofungus türlerinin teşhisi aşamasında yardımlarından dolayı Uzm. Biyolog Ferudun KOÇER'e teşekkür ederim.

## 6. Kaynaklar

- Asan, A., İlhan, S., Sen, B., Erkara, I.P., Filik, C., Cabuk, A., Demirel, R., Ture, M., Okten, S.S., Tokur, S. 2004. Airborne Fungi and Actinomycetes Concentrations in the Air of Eskisehir City (Turkey), Indoor. *Built. Environ.*, 13(1): 63-74. <https://doi.org/10.1177/1420326X04033843>.
- Aslan, N., Büyükgüzel, E., Büyükgüzel, K. 2019. Oxidative effects of gemifloxacin on some biological traits of *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae). *Environ. Entomol.*, 48 (3): 667-673. <https://doi.org/10.1093/ee/nvz039>.
- Bronskill JF. 1961. A Cage to Simplify the Rearing of the Greater Wax Moth, *Galleria mellonella* (Pyralidae). *Journal of the Lepidopterists' Society*, 15(2): 102-104.
- Büyükgüzel, E., Büyükgüzel, K. 2016. Effect of Acyclovir on the Microbial Contamination in the Artificial and Natural Diets for Rearing of *Galleria mellonella* L. larvae. *Karaelmas Fen ve Müh. Derg.*, 6(1): 105-110. <http://dx.doi.org/10.7212%2Fzkufbd.v6i1.272>.
- Büyükgüzel, E., Hyršl, P., Büyükgüzel, K. 2010. Eicosanoids Mediate Hemolymph Oxidative and Antioxidative Response in Larvae of *Galleria mellonella* L. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.*, 156(2): 176-183. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.01.020>.

- Büyükgüzel, E., Kalender, Y. 2009.** Exposure to Streptomycin Alters Oxidative and Antioxidative Response in Larval Midgut Tissues of *Galleria mellonella*. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 94(2-3): 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2009.04.008>.
- Djainal, WAS., Shahin, K., Metselaar, M., Adams, A., Desbois, AP. 2020.** Larva of Greater Wax Moth *Galleria mellonella* is a suitable Alternative Host for the Fish Pathogen *Francisella noatumensis* subsp. orientalis. *BMC Microbiol.*, 20(1): 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12866-020-1695-0>.
- Domsch, K.H., Gams, W., Anderson, T.H. 1980.** Compendium of soil fungi, London, Academic press, Volume 1, 860 s.
- Ellis, D., Davis, S., Alexiou, H., Handke, R., Bartley, R. 2007.** Descriptions of medical fungi. Nexus Print Solutions, Adelaide, South Australia, 264 s.
- Gegner, J., Baudach, A., Mukherjee, K., Halitschke, R., Vogel, H., Vilcinskis, A. 2019.** Epigenetic Mechanisms are Involved in Sex-Specific Trans-Generational Immune Priming in The Lepidopteran Model Host *Manduca sexta*. *Front. Physiol.*, 10: 1-13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00137>.
- Gifawesen, C., Funke, BR., Proshold, FI. 1975.** Control of antifungal-resistant strain of *Aspergillus niger* mold contaminants in insect rearing media. *J. Econ. Entomol.*, 68: 441-444. <https://doi.org/10.1093/jee/68.4.441>.
- Hasenekoğlu, İ. 1991.** Toprak Mikrofungusları, Cilt:1-7, Atatürk Üniversitesi Yayınları, No: 689, Erzurum.
- Kastamonuluoğlu, S., Büyükgüzel, K., Büyükgüzel, E. 2020.** The Use of Dietary Antifungal Agent Terbinafine in Artificial Diet and Its Effects on Some Biological and Biochemical Parameters of the Model Organism *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Econ. Entomol.*, 113(3): 1110-1117. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa039>.
- Kılıç, A., Büyükgüzel, K., Büyükgüzel, E. 2015.** Antihelmintik Triklabendazolun Yapay Besin ile Beslenen *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) Larvalarının Yaşama ve Gelişimine Etkisi. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.*, 21(6): 841-847. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2016.15393>.
- Lapointe, JF., McCarthy, CD., Dunphy, GB., Mandato, CA. 2020.** Physiological Evidence of Integrin-Antibody Reactive Proteins Influencing the Innate Cellular Immune Responses of Larval *Galleria mellonella* Hemocytes. *Insect Sci.*, 27(2): 239-255. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12646>.
- Larone Davise, H. 1993.** Medically Important Fungi A Guide To Identification. Chief Microbiologist, Department of Pathology Lenox Hill Hospital, New York: 230 s.
- Noor-ul-Ane, M., Kim, DS., Zalucki, MP. 2018.** Fecundity and Egg Laying in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): Model Development and Field Validation. *J. Econ. Entomol.*, 111(5): 2208-2216. <https://doi.org/10.1093/jee/toy183>.
- Pitt, J.I. 2000.** A laboratory guide to common *Penicillium* species. Food Science Australia a Joint Venture of CSIRO and AFISC, Australia, North Ryde., 197s.
- Pitt, J.I., Hocking, A.D. 2009.** Fungi and food spoilage. Third edition. Springer 519 s.
- Rossoni, RD., de Camargo Ribeiro, F., Dos Santos, HFS., Dos Santos, JD., de Sousa Oliveira, N., dos Santos Dutra, MT., de Lapena, SAB., Junqueira, JC. 2019.** *Galleria mellonella* as an Experimental Model to Study Human Oral Pathogens. *Arch. Oral. Biol.*, 101: 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2019.03.002>
- Samson, RA., Pitt, JI. 2000.** Integration of Modern Taxonomic Methods for *Penicillium* and *Aspergillus* Classification, (4rd ed.) Singapore: Harwood Academic Publishers, 510 s.
- Santorun, M., Brancalhão, RMC., Guimarães, ATB., Padovani, CR., Tettamanti, G., Dos Santos, DC. 2019.** Negative Impact of Novaluron on The Nontarget Insect *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae). *Environ. Pollut.*, 249: 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.095>.
- Sertçelik, M., Sugeçti, S., Büyükgüzel, E., Necefoğlu, H., Büyükgüzel, K. 2018.** Diaquabis (N,N-dietilnikotinamid-N1) bis (4-formilbenzoato-O) kobalt (II) Kompleksinin Model Organizma *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) Üzerindeki Toksikolojik ve Fizyolojik Etkileri. *Karaelmas Fen ve Müh. Derg.*, 8(1): 359-364. <http://dx.doi.org/10.7212%2Fzkufbd.v8i1.1207>.
- Shaik, HA., Mishra, A., Sehadová, H., Kodrik, D. 2020.** Responses of Sericotropin to Toxic and Pathogenic Challenges: Possible Role in Defense of The Wax Moth *Galleria mellonella*. *Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol.*, 227: 108633. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.108633>.
- Singh, P., Bucher, GE. 1971.** Efficacy of "safe" levels of antimicrobial food additives to control microbial contaminants in a synthetic diet for *Agria affinis* larvae. *Entomol. Exp. Appl.*, 14: 297-309. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1971.tb00167.x>.
- Su, J., Wang, YC., Zhang, SK., Ren, XB. 2014.** Antifungal Agents Against *Aspergillus niger* for Rearing Rice Leafhopper Larvae (Lepidoptera: Pyralidae) on Artificial Diet. *J. Econ. Entomol.*, 107: 1092-1100. <https://doi.org/10.1603/ec13296>.
- Sugeçti, S., Büyükgüzel, K. 2018.** Effects of Oxfendazole on Metabolic Enzymes in Hemolymph of *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) Larvae Reared on Artificial Diet. *Karaelmas Fen ve Müh. Derg.*, 8(2): 590-594. <http://dx.doi.org/10.7212%2Fzkufbd.v8i2.1380>.
- Sugeçti, S., Büyükgüzel, K., Büyükgüzel, E. 2016.** Laboratory Assays of the Effects of Oxfendazole on Biological Parameters of *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Entomol. Sci.*, 51(2): 129-137. <https://doi.org/10.18474/JES15-36.1>.

- Vertyporokh, L., Wojda, I. 2020.** Immune Response of *Galleria mellonella* After Injection with Non-Lethal and Lethal dosages of *Candida albicans*. *J. Invertebr. Patbol.*, 170: 107327. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107327>.
- Watanabe, T. 2010.** Pictorial atlas of soil and seed fungi: Morphologies of cultured fungi and key to Species. Boca Raton: Crc Press/Taylor & Francis. 404 s.
- Zou, YX., Hu, TG., Shi, Y., Liu, J., Mu, LX., Xiao, Y., Liao, ST. 2017.** Establishment of A Model to Evaluate The Nutritional Quality of *Bombyx mori* Linnaeus (Lepidoptera, Bombycidae) Pupae Lipid Based on Principal Components. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(4): 1364-1371. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.05.012>.





## *Chelon auratus* (Risso, 1810)'un Karaciğerinden Glukoz-6-Fosfat Dehidrojenaz'ın Safaştırılması ve Kinetik Karakterizasyonu

### *Purification and Characterization of Glucose-6-Phosphate Dehydrogenase from the Liver of Chelon Auratus (Risso, 1810)*

Salih Görgün\* , Emre Koç 

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi, Biyokimya Bölümü, Sivas, Türkiye

#### Öz

Bu çalışmada, önemli bir kefal balığı türü olan *Chelon auratus* (Risso, 1810)'un karaciğerinden glukoz-6-fosfat dehidrojenaz (EC 1.1.1.49), 2'5' ADP-Sepharose 4B afinite kromatografisi ile 252 kat saflık, 27.04 EU/mg.protein spesifik aktivite ve % 27.42 verim ile safaştırılmıştır. Elde edilen enzim preparatı için optimum sıcaklık, pH ve iyonik güç sırasıyla 40 °C, pH 8, ve 0.1 M olarak bulunmuştur. Enzimin kinetik davranışı gerek glukoz-6-fosfat (G6P) gerekse NADP<sup>+</sup> için değerlendirilmiştir. Elde edilen verilere göre, K<sub>m</sub> ve V<sub>max</sub> değerleri NADP<sup>+</sup> için sırasıyla 0.14 mM ve 3.40 EU/mL olarak belirlenirken, G6P için sırasıyla 0.23 mM ve 2.62 EU/mL olduğu bulunmuştur. Bu veriler, substrat olarak G6P ile karşılaştırıldığında, enzimin NADP<sup>+</sup> için daha yüksek bir afinite sergilediğini önermektedir. Safaştırılan enzim preparatında SDS-PAGE analizi sonucunda, molekül kütlelerinin yaklaşık olarak 108 kDa ve 60 kDa olan iki protein bandının olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, kefal türlerinden glukoz-6-fosfat dehidrojenazın safaştırılmasında ek kromatografik adımların gerekli olduğunu önermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Chelon auratus*, Glukoz-6-fosfat dehidrojenaz, Kinetik karakterizasyon, Safaştırma

#### Abstract

In this study, glucose-6-phosphate dehydrogenase (EC. 1.1.1.49) from the liver of *Chelon auratus* (Risso, 1810), an economically important mullet species, were purified with purification parameters of 252-fold purity, a specific activity of 27.04 EU/mg.protein and a yield of 27.42%. The optimum temperature, pH and ionic strength were found to be 40 °C, pH 8 and 0.1 M, respectively, for the enzyme preparation obtained. The kinetic behavior of the enzyme was evaluated for both G6P and NADP<sup>+</sup>. According to the data obtained, K<sub>m</sub> and V<sub>max</sub> values were determined as 0.14 mM and 3.40 EU/mL for NADP<sup>+</sup>, respectively, while it was found to be 0.23 mM and 2.62 EU/mL for G6P, respectively. These data have been suggested that the enzyme has higher affinity for the NADP<sup>+</sup>, when compared with G6P as a substrate. According to the SDS-PAGE analyses of the purified enzyme, it was observed that there were two protein bands having molecular weight of 108 kDa and 60 kDa. The results obtained have been suggested that additional chromatographic steps might be required for the purification of glucose-6-phosphate dehydrogenase from the mullet species.


**Keywords:** *Chelon auratus*, Glucose-6-phosphate dehydrogenase, Kinetic characterization, Purification


#### 1. Giriş

Pentoz fosfat metabolik yolu, karbonhidrat metabolizmasında önemli bir yer tutar ve anahtar enzimi glukoz-6-fosfat dehidrojenazdır (G6PD). Bu metabolik yol, balıklar da dahil olmak üzere, anabolik yollarda kullanılan NADPH'ın üretilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir (Hu vd. 2013). NADP<sup>+</sup> varlığında, glukoz-6-fosfat'ın 6-fosfoglukonat'a

dönüşümünü katalizleyen glukoz-6-fosfat dehidrojenaz (Hasmann vd. 2007), bir dizin enzim sistemiyle birlikte, hücrede antioksidan savunma sisteminin önemli bir kısmını üstlenir ve bu esnada NADPH meydana gelir. Son dönemlerde yoğun araştırma konusu olan G6PD eksikliğinin, NADPH'ın azalmasına ara bulurak hücrede oksidatif hasara yol açmakta olduğu bildirilmektedir (Özmen 2009, Kırıcı ve Atamanalp 2016). NADPH, glutatyon'un indirgenmesi, kolesterol ve yağ asidi sentezi gibi biyosentetik süreçlerde anahtar bir bileşen olarak rol oynar (Ceyhan vd. 2005).

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

Salih Görgün  [orcid.org/0000-0002-2121-2577](https://orcid.org/0000-0002-2121-2577)

Emre Koç  [orcid.org/0000-0002-5942-5287](https://orcid.org/0000-0002-5942-5287)

Pentoz fosfat metabolik yolunun ilk ve anahtar enzimi olan G6PD, Yoshida (1967) tarafından selülozik iyon değiştiriciler ve sefadeks kolon kromatografileri ile saflaştırılmıştır. Günümüzde enzimin tek basamakta saflaştırılmasına olanak sağlayan 2'5' ADP-sepharose afinite kromatografisi, Ninfalı vd. (1990) tarafından ortaya konmuştur. Uluş vd. (1999) koyun lens G6PD enzimini, 2'5' ADP-sepharose afinite kromatografisi ve DEAE sefaroze kolon kromatografisinin bir kombinasyonu ile saflaştırmışlardır. Uluş vd. (1999) tarafından yerine getirilen bu çalışma, pentoz fosfat yolağının iki enzimi olan G6PD ve 6-fosfolukonat dehidrojenaz enzimlerinin aynı anda saflaştırılmasını ortaya koyması açısından oldukça önemli bir çalışma olarak görülebilir. İlerleyen yıllarda G6PD, gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) eritrositlerinden (Çiftçi vd. 2004), rat böbreğinden (Adem ve Çiftçi, 2012), çim sazı (*Ctenopharyngodon idella*) hepatopankreasından (Hu vd. 2013), deve karaciğerinden (İbrahim vd. 2014), *O. mykiss* karaciğeri (Çomaklı vd. 2015) gibi bir çok farklı kaynaktan saflaştırılmaya ve kinetik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. *Chelon auratus* (Risso, 1810), Akdeniz kıyılarında yayılış gösteren ekonomik anlamda önemli bir kefal türüdür (Fazio vd. 2020). Literatür taraması yapıldığında, görebildiğimiz kadarıyla, bu balık türünden G6PD enzimi ile ilgili herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada G6PD enzimin *C. auratus*'un karaciğerinden saflaştırılması ve enzimin temel kinetik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Balık Örneklerinin Sağlanması

Bu çalışmada kullanılan *Chelon auratus* (Risso, 1810) bireyleri Köyceğiz (Muğla) Dalyan'ından elde edilmiştir. Elde edilen balık örnekleri laboratuvarında buzlu ortamda diseke edilerek karaciğerleri elde edilmiş ve kullanılabilecek kadar -20 °C'da muhafaza edilmiştir.

### 2.2. Karaciğer Homojenatının Hazırlanması

6 g kütleyle sahip olan karaciğer dokusu Ultra Turrax T 25 homojenizatör kullanılarak buzlu ortamda 25.000 rpm'de 2 dakika boyunca 20 mM Tris-HCl (1 mM DDT ve 1 mM EDTA katkılı) homojenat tamponu içerisinde homojenize edilmiştir (Adem ve Çiftçi, 2012). Homojenize edilen doku, elyaf pamuk vasıtasıyla süzülerek kaba partiküllerden arındırılmıştır. Daha sonra homojenatın 10.000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmesi ile elde edilen üst sıvı (20 mL) saflaştırma çalışmalarında kullanılmıştır.

### 2.3. 2'5' ADP-Sepharose Afinite Kromatografisi

Kolon kromatografisindeki çözelti ve yöntemler Adem ve Çiftçi (2012)'ye göre yerine getirilmiştir. Bu amaçla, 2 g toz halindeki, 2'5' ADP-sepharose afinite kolon dolgu materyali öncelikle distile su ile yıkanarak kaba partiküller uzaklaştırılmış ve kolon dolgu maddesi 0.1 M potasyum asetat/0.1 M potasyum fosfat tamponu (pH=6.9) ile kolona alınmıştır (1.5x8 cm). Daha sonra kolon, kolon dengeleme tamponu (50 mM potasyum fosfat, 1 mM EDTA, 1 mM DDT, pH= 7.35) ile dengelenmiştir. Bu süreçler esnasında akış hızı 40 mL/saat olarak ayarlanmıştır. 20 mL hacminde elde edilen homojenat kolona uygulanmıştır. Daha sonra kolon 40 mL hacimde 50 mM potasyum fosfat tamponu (1 mM EDTA, 1 mM DDT, 80 mM KCl) ile yıkanarak kolona bağlanmayan proteinler elüe edilmiştir. Afinite kolonuna bağlanan G6PD enzimi, 30 mL'lik elüsyon tamponu (80 mM potasyum fosfat, 80 mM KCl, 1 mM EDTA, 0.5 mM NADP<sup>+</sup>, pH= 7.85) ile kolondan elüe edilmiştir.

### 2.4. Enzim Aktivite Tayinleri

Enzim aktivitesi, G6PD tarafından NADP<sup>+</sup>'nın redüksiyonunu esas alan Beutler (1984)'ün ve Hu vd. (2013)'ün yöntemlerine göre, 30 °C'da ölçülmüştür. Spektrofotometrik ölçümlerde rutin aktivite tayinlerindeki tüplerin final konsantrasyonları, 0.1 M Tris-HCl (pH= 7.5) tamponu içerisinde 10 mM MgCl<sub>2</sub>, 0.2 mM NADP<sup>+</sup>, 0.6 mM glukoz-6-fosfat (G6P) ve 20 µL enzim çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örnek tüpü, kör tüpüne karşı okunmuş ve kör tüpte enzim yerine aynı hacimde tampon kullanılmıştır. NADP<sup>+</sup>'nin NADPH'a dönüşümü 340 nm'deki absorbans değişimleri izlenerek takip edilmiştir. Bir enzim aktivite ünitesi (EU) ise, dakikada 1 µmol NADP<sup>+</sup>'yi indirgeyen enzim miktarı olarak tanımlanmaktadır.

### 2.5. Optimum İyonik Gücün Belirlenmesi

Optimum iyonik güç, enzim aktivitesi 0.1 M ile 0.7 M arasındaki konsantrasyonlarda Tris-HCl tamponu içerisinde standart enzim aktivitesi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Deneyler üç tekrar olarak yerine getirilmiştir.

### 2.6. Optimum pH Belirlenmesi

Optimum pH'in belirlenmesi amacıyla, enzim aktivitesi 0.1 M Tris-HCl ve fosfat tamponları içerisinde 5 ile 9 pH noktaları arasındaki değerlerde, standart aktivite yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Deneyler üç tekrar olarak yerine getirilmiştir.

**Çizelge 1.** *C. auratus* karaciğeri glukoz-6-fosfat dehidrojenazı saflaştırma tablosu.

Parametre	Toplam Hacim (mL)	Aktivite (EU/mL)	Toplam Aktivite (EU)	Protein (mg/mL)	Spesifik aktivite	Verim (%)	Saflaştırma (Kat)
Homojenat	20	1.40	28	13.01	0.107	100	1
2'5' ADP sepharose 4 B afinite kromatografisi	4	1.92	7.68	0.071	27.04	27.42	252

### 2.7. Optimum Sıcaklık Belirlenmesi

Bu amaçla, enzim aktivitesi 10 °C ile 60 °C arasında değişen sıcaklıklarda, belirlenen optimum pH ve iyonik güç koşulları altında belirlenmiştir. Deneyler üç tekrar olarak yerine getirilmiştir.

### 2.8. Kinetik Çalışmalar

Substrat kinetikleri optimal şartlar altında (0.1 M Tris-HCl, pH=8.0, 37 °C), G6P ve NADP'nın değişen konsantrasyonlarında her iki substrat bileşeni için ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu amaçla, NADP'nın değişen konsantrasyonlarının (0.05 mM, 0.1 mM, 0.2 mM, 0.3 mM ve 0.4 mM) sabit G6P konsantrasyonunda (0.6 mM) enzim aktivitesi üzerine etkisi belirlenerek NADP<sup>+</sup> için Lineweaver-Burk eğrisi elde edilmiştir. Yine G6P'in değişen konsantrasyonlarının (0.15 mM, 0.3 mM, 0.6 mM, 0.9 mM, 1.2 mM) ve sabit NADP<sup>+</sup> konsantrasyonunda (0.2 mM) enzim aktivitesi üzerine etkisi belirlenmiş ve G6P substratı için Lineweaver-Burk eğrisi çizilmiştir. Çalışmalar Hu vd. (2013)'e göre yapılmıştır. Böylece gerek NADP<sup>+</sup> için, gerekse G6P için  $K_m$  ve  $V_{max}$  parametreleri hesaplanmıştır. Deneyler üç tekrarlı olarak yerine getirilmiştir.

### 2.9. Protein Miktarlarının Belirlenmesi

Protein miktarları Bollag ve ark. (1996)'nın metoduna göre yerine getirilmiştir. Standart olarak BSA kullanılmıştır.

### 2.10. SDS Poliakrilamid Jel Elektrofrezisi (SDS-PAGE)

Enzim saflığının ve moleküler kütesinin belirlenmesi amacıyla SDS-PAGE çalışması Laemmli (1970)'e göre yerine getirilmiştir. Homojenat ve afinite kromatografisi ile elde edilen enzim preparatından alınan eşit miktarda protein, elektrofrezde % 3 yürütücü jel ve % 10 ayırıcı jelde 150 mA sabit akımda 1 saat boyunca koşturulmuştur. Elde edilen jel, % 50 metanol, % 10 asetik asit ve % 40 distile su içeren fiksatif çözeltisinde 30 dakika fikse edildikten sonra, % 0.1 Coomassie Brilliant Blue R-250 içeren fiksatif çözeltisinde 2 saat boyunca orbital çalkalayıcıda dakikada 50 rpm'de çalkalanarak boyanması sağlanmıştır. Daha sonra

jel, boya giderme çözeltisi ile birçok kez yıkanarak protein bantları görülür hale getirilmiştir.

## 3. Bulgular

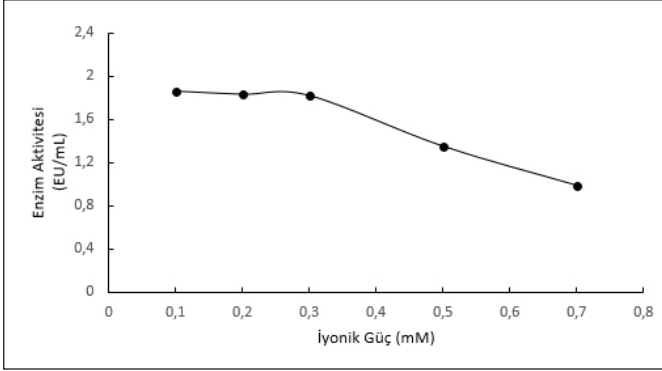
Bu çalışmada, *C. auratus*'un karaciğerinden G6PD enzimi, 2'5' ADP-sepharose 4B afinite kolon kromatografisi kullanılarak 252 kat saflaştırılmıştır. Elde edilen enzim preparatının spesifik aktivitesi 27.04 EU/mg.protein olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Enzim saflığının kontrolü ve molekül kütesinin belirlenmesi amacıyla yerine getirilen SDS-PAGE analizi sonucunda, homojenatta yoğun bir şekilde bulunan protein bantlarının, saflaştırılmış enzim preparatında iki bant olarak gözlenmiştir.

Enzimin sergilemiş olduğu kinetik özelliklerden iyonik gücün belirlenmesi çalışmalarında, 0.1 M, 0.2 M ve 0.3 M Tris-HCl uygulamalarında elde edilen enzim aktivitesindeki değişimlerin (1.86 EU/mL ile 1.82 EU/mL arasında) fark göstermediği belirlenmiştir. Bununla birlikte, 0.5 M ve 0.7 M iyonik güç uygulamalarında enzim aktivitesinde düşüşler gözlenmiştir (Şekil 1). Optimum iyonik güç (0.1 M Tris-HCl) konsantrasyonlarında farklı pH noktalarına ait aktivite değerleri Şekil 2'de görülmektedir. Buna göre; G6PD için optimum pH, 8 olarak belirlenmiştir. Enzim, pH'nın 7 ile 7.4 olduğu noktalarda benzer aktivite değerleri sergilemiştir. Bir diğer kinetik özellik olan sıcaklık, 10 °C ile 60 °C arasında değerlendirilmiştir. Buna göre, optimum sıcaklığın 40 °C olduğu görülmekle birlikte, 50 °C'da enzimin 30 °C için elde edilen aktiviteden daha yüksek bir aktivite sergilediği belirlenmiştir (Şekil 3).

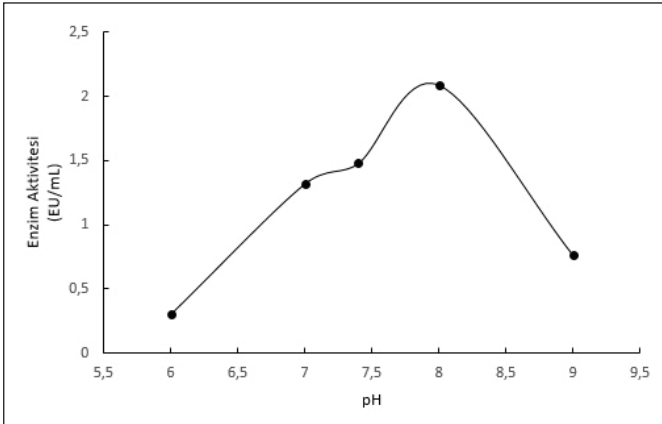
Sabit NADP<sup>+</sup> konsantrasyonlarında, G6P substratı için elde edilen Lineweaver-Burk eğrisi Şekil 4'te görülmektedir. G6P için belirlenen  $K_m$  ve  $V_{max}$  değerlerinin sırasıyla 0.23 mM ve 2.62 EU/mL olduğu bulunmuştur. Benzer olarak, sabit G6P konsantrasyonlarında, NADP<sup>+</sup> için elde edilen Lineweaver-Burk eğrisi de Şekil 5'te gösterilmiştir. Buna göre NADP<sup>+</sup> için belirlenen  $K_m$  ve  $V_{max}$  değerleri sırasıyla 0.14 mM ve 3.40 EU/mL olduğu bulunmuştur (Çizelge 2).

**Çizelge 2.** *C. auratus* karaciğer glukoz-6-fosfat dehidrojenazının G6P ve NADP<sup>+</sup> için K<sub>m</sub> ve V<sub>max</sub> değerleri.

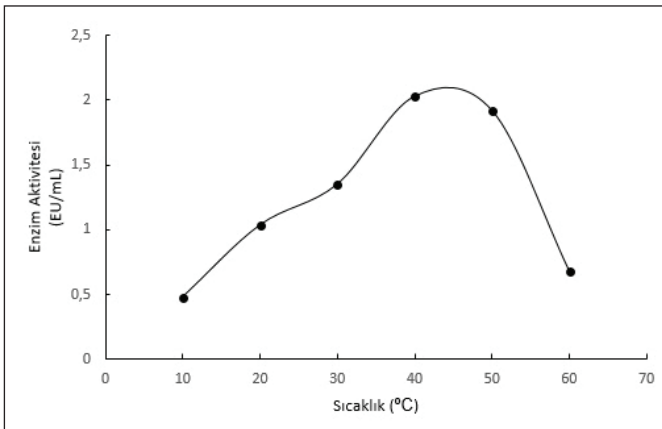
G6P		NADP <sup>+</sup>	
K <sub>m</sub> (mM)	V <sub>max</sub> (EU/mL)	K <sub>m</sub> (mM)	V <sub>max</sub> (EU/mL)
0.23	2.62	0.14	3.40



**Şekil 1.** İyonik gücün G6PD aktivitesi üzerine etkisi.



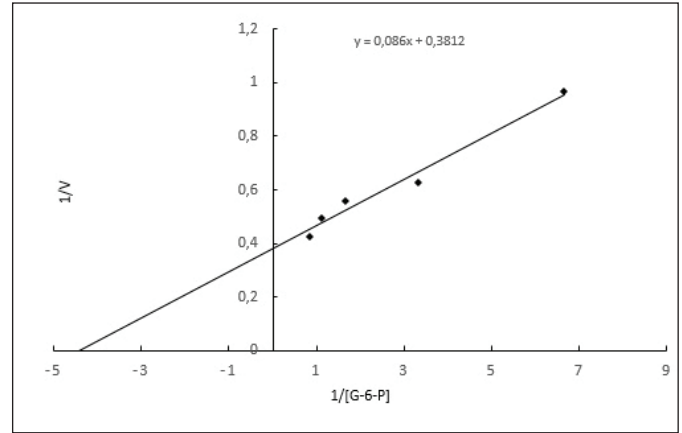
**Şekil 2.** pH'nın G6PD aktivitesi üzerine etkisi.



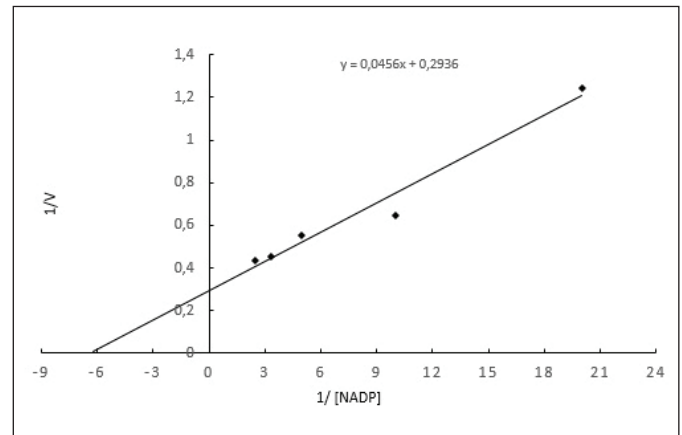
**Şekil 3.** Sıcaklığın G6PD aktivitesi üzerine etkisi.

#### 4. Tartışma

Gerek balıklarda, gerekse farklı organizmalardan pentoz fosfat metabolik yolundaki enzimlerin saflaştırılması birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu bağlamda, çalışmamızda kullanılan ve ekonomik öneme sahip bir kefal balığı türü olan *C. auratus*'tan G6PD enzimi ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle yapmış olduğumuz çalışmada, 2'5' ADP-sepharose 4 B afinite kromatografisi ile enzim 252 kat saflıkla ve 27.04 EU/mg.protein spesifik aktivite parametreleriyle elde edilebilmiştir. Çiftçi vd. (2004) tarafından *O. mykiss* eritrositlerinden G6PD enziminin, % 40-65 amonyum sülfat çöktürmesi sonrasında afinite kolonuyla 1271 kat saflıkla elde edildiği bildirilmiştir. *C. idella* hepatopankreasından enzim afinite kromatografisini takiben DEAE sepharose iyon değişim kromatografisi ile 1066 kat saflık ile elde edilmiştir (Hu vd. 2013). Bir tatlı su balığı olan *Chalcalburnus tarichi* (inci kefal) solungacından G6PD enziminin,



**Şekil 4.** G6P substratı için elde edilen Lineweaver-Burk eğrisi.

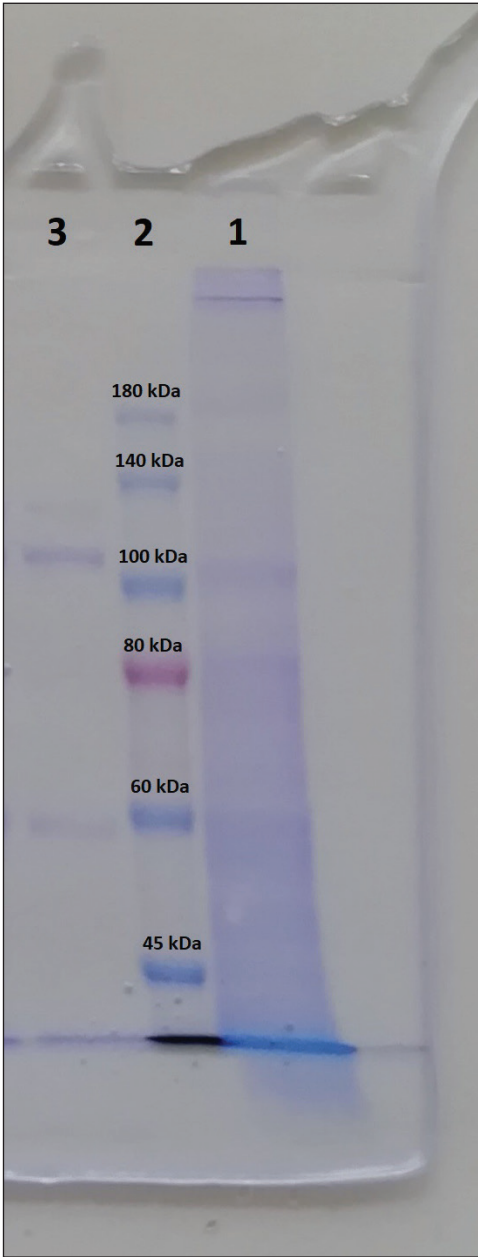


**Şekil 5.** NADP<sup>+</sup> substratı için elde edilen Lineweaver-Burk eğrisi.



amonyum sülfat çöktürme ve afinite kromatografisi ile 508 kat saflık ve 11.84 EU/mg.protein spesifik aktivite ile elde edildiği bildirilmiştir (Kuzu vd. 2016). Bu veriler göz önüne alındığında, çalışmamızda elde edilen spesifik aktivite, diğer balık türlerinden elde edilen spesifik aktiviteden daha yüksek görünmekle birlikte, daha düşük saflaştırma katsayısı bildirmektedir.

Çalışmamızda, *C. aurata* karaciğerinden elde edilen G6PD enziminin pH=8'de, 40 °C ve 0.1 M Tris-HCl iyonik



**Şekil 6.** SDS-PAGE elektroforez sonuçları. 1: Homojenat, 2: Molekül kütle markırı, 3: 2'5' ADP-sepharose kromatografisi.

gücünde en yüksek aktiviteyi sergilediği belirlenmiştir. Bu parametreler, literatürdeki diğer balık türleri ile elde edilen veriler ile karşılaştırıldığında optimum aktiviteler; *O. mykiss* eritrositinde pH 8 ve 40 ile 50 °C'da (Çiftçi vd. 2004), *C. idella* hepatopankreasında pH 7.5 ile 9 arasında ve 42 °C'da (Hu vd. 2013), *O. mykiss* karaciğerinde pH= 7.5, 50 °C ve optimum iyonik güç 120 mM (Çomaklı vd. 2015) olarak belirlenmiştir. Bu verilerden, çalışmamızda kullanılan *C. aurata*'nın karaciğer G6PD enziminin diğer balık türleriyle benzer kinetik özellikler sergilediği gözlenmektedir. Bununla birlikte, bafalo eritrositleri (Çiftçi vd. 2003) ve rat akciğeri (Adem ve Çiftçi, 2016 a) ve kalbi (Adem ve Çiftçi, 2016 b) gibi farklı organizmalardan elde edilen G6PD enziminin bazı kinetik değerlerde farklılıklar gösterdiği bildirilmektedir. Çalışmamızda *C. aurata* karaciğer G6PD enziminin, G6P ve NADP<sup>+</sup> için elde edilen K<sub>m</sub> değerleri sırasıyla 0.23 mM ve 0.14 mM olarak belirlenmiştir. Ayrıca, G6P ve NADP<sup>+</sup> için elde edilen V<sub>max</sub> değerleri sırasıyla 2.62 EU/mL ve 3.40 EU/mL olarak belirlenmiştir. Bu veriler çalışmamızda elde ettiğimiz enzimin, NADP<sup>+</sup>'ya, G6P'dan daha fazla ilgi gösterdiğini önermektedir. Literatürde, balıklarda bu konu ile ilgili farklı bulguların olduğu görülmektedir. Örneğin; *C. idella* (Hu vd. 2013) hepatopankreasından saflaştırılan enzimin NADP<sup>+</sup>'ya G6P'den daha fazla ilgili olduğu belirlenmesine rağmen, *O. mykiss* karaciğerinden elde edilen enzimin substrat ilgisinin tam tersi olarak G6P için daha fazla olduğu bildirilmiştir (Çomaklı vd. 2015).

Çalışmamızda afinite kromatografisi yoluyla saflaştırılan enzim preparatında molekül kütlelerinin yaklaşık olarak 108 kDa ve 60 kDa olduğu iki bant gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, literatürde gerek balıklar gerekse diğer organizmalar üzerinde yapılan çalışmalar G6PD enziminin, SDS-PAGE ile tek bant olduğunu bildirmiştir. Bunlardan enzimin molekül kütlesi *O. mykiss* eritrositlerinde 64.26 kDa (Çiftçi vd. 2004), *C. idella* hepatopankreasında 71.85 kDa (Hu vd. 2013), rat böbreğinde 56 kDa (Adem ve Çiftçi, 2013), deve karaciğerinde 64 kDa (İbrahim vd. 2014), *Chalcalburnus tarichi* solungacında 53.6 kDa (Kuzu vd. 2016) olarak belirlenmiştir. Bu verilerden, çalışmamızda elde edilen enzim preparatının kontaminant bir proteini daha içerebileceği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, bir diğer önemli kefal türü olan *Mugil cephalus* karaciğerinde yapılan bir çalışmada (Hochachka ve Clayton- Hochachka 1973) G6PD enziminin elektroforetik olarak ayırt edilebilir tetramer olarak iki formunun (I ve II) olduğu ve her iki tetramerin 200 kDa'dan büyük molekül külesine sahip olduğunu bildirmiştir. Elde etmiş olduğumuz sonuçların,

*C. aurata* türünün karaciğerinden G6PD enzimine ait ilk veriler olması açısından önemli olduğunu düşünmekteyiz. Ayrıca, elde edilen enzim preparatında belirlenen iki protein bandının G6PD izoenzimi olup olmadıklarının belirlenmesi için ek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Birimi tarafından F-625 No'lu proje olarak desteklenmiştir. Bu nedenle, teşekkürlerimizi sunuyoruz.

## 6. Kaynaklar

- Adem, Ş., Çiftçi, M. 2012.** Purification of rat kidney glucose 6-phosphate dehydrogenase, 6-phosphogluconate dehydrogenase, and glutathione reductase enzymes using 2'5'-ADP sepharose4B affinity in a single chromatography step. *Protein Expr. Purif.* 81(1): 1-4. Doi: 10.1016/j.pep.2011.08.031
- Adem, Ş., Çiftçi, M. 2016 a.** Purification and characterization of glucose 6-phosphate dehydrogenase, 6-phosphogluconate dehydrogenase, and glutathione reductase from rat heart and inhibition effects of furosemide, digoxin, and dopamine on the enzymes activities. *J. Biochem. Mol. Toxicol.* 30(6): 295-301. Doi: 10.1002/jbt.21793
- Adem, Ş., Çiftçi, M. 2016 b.** Purification and biochemical characterization of glucose 6-phosphate dehydrogenase, 6-phosphogluconate dehydrogenase and glutathione reductase from rat lung and inhibition effects of some antibiotics. *J. Enzyme Inhib. Med. Chem.* 31(6): 1342-1348. Doi: 10.3109/14756366.2015.1132711
- Beutler, E. 1984.** Red cell metabolism: a manual of biochemical methods. Academic Press, London, 1971, pp 68-71
- Bollag, DM., Rozycki, MD., Edelstein, SJ. 1996.** Protein methods, A John Wiley and Sons, Inc., Publication, 57-82.
- Ceyhan, D., Danişan, A., Ögüş, H., Özer, N. 2005.** Purification and kinetic properties of 6-Phosphogluconate dehydrogenase from rat small intestine. *The Protein Journal.* 24(5): 293-301. Doi: 10.1007/s10930-005-6750-z
- Çiftçi, M., Beydemir, Ş., Yılmaz, H., Altıkat, S. 2003.** Purification of glucose 6-phosphate dehydrogenase from buffalo (*Bubalus bubalis*) erythrocytes and investigation of some kinetic properties. *Protein Expr. Purif.* 29(2): 304-310. Doi: 10.1016/s1046-5928(03)00073-1
- Çiftçi, M., Çiltaş, A., Erdoğan, O. 2004.** Purification and characterization of glucose 6-phosphate dehydrogenase from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) erythrocytes. *Vet. Med.-Czech.* 49(9): 327-333. Doi: 10.17221/5712-VETMED.
- Çomaklı, V., Akkemik, E., Çiftçi, M., Küfrevioğlu, Öİ. 2015.** Purification and characterization of glucose 6-phosphate dehydrogenase enzyme from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) liver and investigation of the effects of some metal ions on enzyme activity. *Toxicol. Ind. Health.* 31(5): 403-411. Doi: 10.1177/0748233713475514
- Fazio, F., Saoca, C., Acar, Ü., Tezel, R., Çelik, M., Yılmaz, S., Kesbiç, OS., Yalgın, F., Yiğit, M. 2020.** A comparative evaluation of hematological and biochemical parameters between the Italian mullet *Mugil cephalus* (Linnaeus 1758) and the Turkish mullet *Chelon auratus* (Risso 1810). *Turk. J. Zool.* 44:22-30. Doi: 10.3906/zoo-1907-37
- Hasmann, FA., Gurpilhares, DB., Roberto, IC., Coverti, A., Pessoa Jr., A. 2007.** New combined kinetic and thermodynamic approach to model glucose 6-phosphate dehydrogenase activity and stability. *Enzyme Microb. Tech.* 40(4): 849-858. Doi: 10.1016/j.enzmictec.2006.06.017
- Hochachka, PW., Clayton-Hochachka, B. 1973.** Glucose-6-phosphate dehydrogenase and thermal acclimation in the mullet fish. *Mar. Biol.* 18: 251-259. Doi: 10.1007/BF00347787
- Hu, W., Zhi, L., Zhuo, M-Q., Zhu, Q-L., Zheng, J-L., Chen, Q-L., Gong, Y., Liu, C-X. 2013.** Purification and characterization of glucose 6-phosphate dehydrogenase (G6PD) from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) and inhibition effects of several metal ions on G6PD activity in vitro. *Fish Physiol. Biochem.* 39: 637-647. Doi: 10.1007/s10695-012-9726-x.
- İbrahim, MA., Ghazy, A-HM., Salem, AMH, Ghazy, MA., Abdel-Monsef, MM. 2014.** Purification and characterization of glucose 6-phosphate dehydrogenase from camel liver. *Enzyme Res.* 1-10. Doi: 10.1155/2014/714054
- Kırıcı, M., Atamanalp, M. 2016.** *Capoeta umbla* (Heckel, 1843) böbrek dokusundan glukoz 6-fosfat dehidrojenaz enziminin saflaştırılması ve bazı antibiyotiklerin enzim aktivitesi üzerine etkilerinin incelenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi.* 3(3): 234-240.
- Kuzu, M., Aslan, A., Ahmed, I., Çomaklı, V., Demirdağ, R., Uzun, N. 2016.** Purification of glucose-6-phosphate dehydrogenase and glutathione reductase enzymes from the gill tissue of Lake Van fish and analyzing the effects of some chalcone derivatives on enzyme activities. *Fish Physiol. Biochem.* 42: 483-491. Doi: 10.1007/s10695-015-0153-7
- Laemmli, DK. 1970.** Cleavage of structural proteins during in assembly of the heat of bacteriophage T4. *Nature* 227: 680-685. Doi: 10.1038/227680a0
- Ninfali, P., Orsenigo, I., Baronciani, L., Rapa, S. 1990.** Rapid purification of glucose-6-phosphate dehydrogenase from mammal's erythrocytes. *Prep. Biochem.* 20(3-4): 297-309. Doi: 10.1080/00327489008050202

- Özmen, İ. 2009.** Glukoz 6-fosfat dehidrojenaz üzerine bazı sitotoksik kimyasalların etkisi. *SDÜ Fen Dergisi.* 4(1): 112-119.
- Ribeiro, MZ., Silva, DP., Vitolo, M., Roberto, IC., Pessoa-Jr., A. 2007.** Partial purification of glucose 6-phosphate dehydrogenase by aqueous two-phase poly(ethyleneglycol)/phosphate systems. *Braz. J. Microbiol.* 38(1): 78-83. Doi: 10.1590/S1517-83822007000100016
- Ulus, NN., Kus, MS., Acan, NL., Tezcan, EF. 1999.** A rapid method for the purification of glucose 6-phosphate dehydrogenase from bovine lens. *Int. J. Biochem. Cell Biol.* 31(7): 787-796. Doi: 10.1016/s1357-2725(99)00019-9
- Yoshida, A. 1967.** Glucose 6-phosphate dehydrogenase of human erythrocytes: I. Purification and characterization of normal (B<sup>+</sup>) enzyme. *J. Biol. Chem.* 241(21): 4966-4976. Doi: 10.1016/S0021-9258(18)99658-4



## Kare Silindir Etrafında Akış ve Tümlleşik Taşınım ile Isı Geçişi

### *Flow and Mixed Convection with Heat Transfer Around a Square Cylinder*

Zerrin Sert 

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye.

### Öz

Engelleyici yüzdürme kuvvetinin laminar rejim şartlarında akış ve ısı transferi özelliği üzerindeki etkisi, dikey kanaldaki bir kare silindir boyunca sayısal olarak incelenmiştir. Engelleyici akış, akış hareketleri ile doğal taşınımından kaynaklanan yüzdürme kuvvetlerinin zıt yönlü olması anlamına gelmektedir. Çalışma ortamı akışkanı olarak hava ( $Pr=0.7$ ) ve su ( $Pr=7$ ) seçilmiştir. Akış ve ısı transferi analizleri Reynolds ( $Re = 100, 150$  ve  $200$ ) ve Richardson sayıları ( $-0.5 \leq Ri \leq 0$ ) değiştirilerek elde edilmiştir. Sayısal çalışmanın çözümü Ansys/Fluent ticari yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Yüzdürme kuvvetleri etkilerini incelemek için Boussinesq yaklaşımının kullanıldığı Navier-Stokes denklemleri çözdürülmüştür. Geçici rejimde tümlleşik taşınımında ısı ve akış karakteristiklerini incelemek için Nusselt sayısı, Strouhal sayısı, sürüklenme ve kaldırma katsayısı her bir durum için elde edilmiştir. Ayrıca eş sıcaklık eğrileri her bir simülasyon için çizdirilmiştir. Richardson sayısının azalması ile Strouhal sayısı, ortalama sürüklenme katsayısı ve ortalama Nusselt sayısının azaldığı, ortalama kaldırma kuvveti katsayısının arttığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kare silindir, Engelleyici yüzdürme kuvveti, Tümlleşik taşınım

### Abstract

The influence of opposing buoyancy on the laminar flow field and heat transfer characteristic is investigated across a square cylinder in a vertical channel numerically. "Opposing flow" means that the buoyancy flow and fluid motions are in opposite directions. The working fluids are air ( $Pr = 0.7$ ) and water ( $Pr = 7$ ). The flow and heat transfer simulations were changed with Reynolds number (100 and 200) and under various Richardson numbers (from 0 to 0.5). The numerical analysis was carried out by Ansys-Fluent software. The effect of buoyancy was incorporated into the Navier-Stokes equations using the Boussinesq approximation. Unsteady mixed convection heat transfer and fluid flow characteristics such as Nusselt number, Strouhal number, the drag and lift coefficient were obtained for each case. Also, the isotherms were depicted for each simulation. It was observed that the Strouhal number, the mean drag coefficient and Nusselt number decreased with the decrease of the Richardson number; but,  $C_{L,rms}$  increased.

**Keywords:** Square cylinder, Opposing buoyancy, Mixed convection

### 1. Giriş

Serbest akıştaki silindirler arkasında oluşan girdaplar, silindir şekli ve akış rejimi özelliklerine bağlı olarak değişir. Akışın silindir üzerinde ve arkasında bıraktığı etkinin kontrol edilmesini gerektiren mühendislik uygulamaları mevcuttur. Bunlar özellikle birbirine yakın olarak yerleştirilen silindir gruplarında; ısı değiştiricileri, fabrika bacaları, soğutma kuleleri, denizlere ve okyanuslara yerleştirilen boru hatları, gelgit olayları ve dalgaları kullanarak güç üreten ekipmanların tasarımı, denizlerde inşa edilecek yapılar ve nükleer reaktör gibi uygulamalarda rastlamak mümkündür. Tek silindirli ve/

veya birden fazla silindir grupları arkasındaki akışlar birçok araştırmacı tarafından hem deneysel hem de sayısal olarak ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Dış akışa maruz kalan silindirler etrafındaki akış ve ısı problemleri analitik olarak çözülemeyecek kadar karmaşıktır. Önceleri deney verilerine dayanan çözümler; yüksek kapasiteli bilgisayarların gelişmesiyle birlikte, pahalı ve zaman alıcı deneylerin yerini sayısal çözümler almaya başlamıştır. Yalın zorlanmış taşınım durumunda bir dairesel silindir etrafındaki dış akış probleminde yapılan ilk nümerik çalışma Churchill ve Bernstein (1977) tarafından yapılmış ve bu çalışma literatürdeki pek çok problem ile kıyaslanmıştır. Çalışmada dairesel silindir üzerinden çapraz akıştaki farklı akışkanların (hem gaz hem de sıvılar için) zorlanmış taşınım ile ısı transferini araştırmışlardır. Çalışmaların sonucunda

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



dairesele silindir için geniş aralıktaki Prandtl sayısında bir korelasyon üretmişlerdir. Bu çalışmalarda engel sadece dairesele silindir geometrilili olmayıp tek kare silindir (Sharma ve Eswaran 2004a, 2004b), tek üçgen silindir geometrisinde (Zeitoun vd. 2011) veya farklı geometrik şekilli silindirler (Zhang vd. 2020, Zhu vd. 2020) içerecek şekilde de olmaktadır.

Şimdiye kadar literatürden anlatılan bu çalışmalarda yalın zorlanmış taşınım durumları ele alınmıştır. Halbuki silindir ve silindirin maruz kaldığı akışkan arasında sıcaklık farklılıkları varsa tümleşik (doğal+zorlanmış) taşınım şartları altında çalışılması gereklidir. Literatürde tümleşik taşınım çalışmaları; engelin akışa yatay ve dikey maruz kalma durumuna ve kanal cidarlarının sınırlı olması ve sınırlı olmaması durumuna göre sınıflandırıldığı görülmektedir. Ayrıca tümleşik taşınım da doğal taşınımın zorlanmış taşınımı desteklediği ve engellediği durumlar mevcuttur. Literatür incelendiğinde destekleyici tümleşik taşınım Richardson sayısı (Ri) sıfırdan büyük, engelleyici tümleşik taşınım Ri sayısının sıfırdan küçük olarak verildiği görülmüştür.

Dairesel veya kare silindiri dikey kanallarda tümleşik taşınım çalışmaları sayısal olarak analiz edilmiştir (Singh vd. 1998, Jassim 2010, Moulai vd. 2016, Salcedo vd. 2016a, Salcedo vd. 2016b). Duvar cidarları ile sınırlandırılmış akışlarda silindirin kanal genişliğine oranı (blokaj oranı) akış ve ısı geçişinde etken bir parametre olduğu için çalışmalarda bu oranın akış ve ısı geçişine etkisinin incelendiği görülmüştür. Örneğin bu çalışmalardan; Gandikota vd. (2010) çalışmalarında dikey kanala yerleştirilen bir adet dairesele silindirin çapı  $D$  olup,  $-0.5 \leq Ri \leq 0.5$ ,  $50 \leq Re \leq 150$  değer aralığında tümleşik taşınımındaki akış ve ısı transferi karakteristiğini incelemişlerdir. Çalışmadaki dikey kenarların sınır şartı duvar olup, çalışmadaki kanal genişliğini  $4D$  olarak kanal cidar yakınlığının akış ve ısı transferi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Dhiman vd. (2014) yukarı yönlü hava akışlı dikey kanalda bulunan bir kare silindir etrafındaki yüzdürme kuvvetlerinin etkisini araştırmışlardır. Parametrik çalışmalarında değişkenler;  $Re$  (1-40),  $Ri$  (0-1) ve blokaj oranı (%25-%50) olarak alınmıştır. Toplam sürüklenme katsayısı  $Re$  sayısı ile azalırken,  $Ri$  sayısı ve duvar blokaj oranı ile artmıştır. Dikey bir adyabatik duvarları izole edilmiş dikey bir kanaldaki eliptik ve dairesele şekilli bir izotermal silindirden Bingham plastik sıvılarında zorlanmış taşınım yardımcı-yüzdürme kuvvetli tümleşik taşınım ile ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir (Patel ve Chhabra 2016). Çalışmalarında Bingham sayısı  $0 \leq Bn \leq 100$ , Reynolds sayısı  $1 \leq$

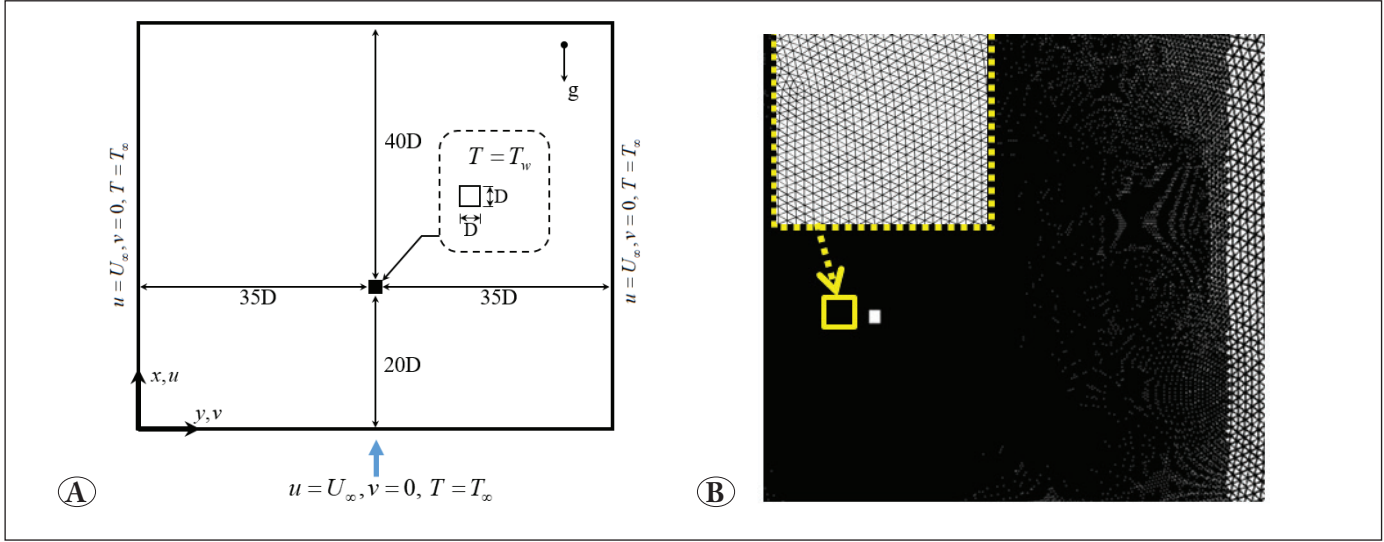
$Re \leq 40$ , Prandtl sayısı  $1 \leq Pr \leq 100$  ve Richardson sayısı 1 ve 10 olarak alınmıştır. Çalışmalarının sonucunda boyutsuz parametrelerin tanımlamalarını kullanarak, ortalama Nusselt sayısının değerini tahmin etmek için yeni korelasyonlar oluşturulmuştur. Dikey kanallarda engel içeren tümleşik taşınım çalışmaları deneysel olarak da incelenmiştir (Singh 2007, Guillen vd. 2014, Salcedo 2017).

Serbest akış alanı içerisindeki (dış akış problemlerinde) farklı geometrilili izotermal silindirler içeren tümleşik taşınım çalışmaları literatürde rastlamak mümkündür. Sharma ve Eswaran (2004b)  $Re=100$ ,  $Pr=0.7$  ve  $-1 \leq Ri \leq 1$  için bir kare silindir etrafında tümleşik taşınımın ısı ve akış karakteristikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ahmad vd. (2009) viskozitenin sıcaklığa bağlı olduğu varsayılan bir izotermal dairesele silindir etrafında laminer tümleşik taşınımı farklı Prandtl sayılarında araştırmışlardır. Sharma vd. (2012)  $Pr=0.7$  için bir kare silindir etrafında tümleşik taşınımın iki boyutlu sayısal analizini yapmışlardır. Ayrıca Zhang ve Samtaney (2016),  $Re=100$  ve  $0 \leq Ri \leq 0.1$  için bir dairesele silindir etrafında geçici rejimde iki boyutlu tümleşik taşınımı çalışmışlardır. Bu çalışmalara ek olarak; Altaç vd. (2019)  $10 \leq Re \leq 200$ ,  $0 \leq Ri \leq 10$  ve  $Pr=0.7$  ve 7 için izotermal bir üçgen silindir etrafında tümleşik taşınımı modellemişler ve çalışmaların sonucunda hem yalın zorlanmış ve doğal taşınım hem de tümleşik taşınım için korelasyon türetip literatüre katkı sağlamışlardır.

Literatüre bakıldığında serbest akış alanı içerisinde zorlanmış taşınımı engelleyici doğal taşınım çalışmaları kısıtlıdır. Bu çalışma ile literatürdeki bu boşluk doldurulmak istenmektedir. Ayrıca hiçbir çalışmada Reynolds ve Prandtl sayıları bu çalışmadaki kadar kapsamlı ele alınmamıştır. Çalışmada, hava ( $Pr = 0.7$ ) ve su ( $Pr = 7$ ) için sayısal simülasyonlar 100 ile 200 arasında değişen Reynolds ve 0 ile -0.5 arasındaki Richardson sayısı için gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizler sonucunda eş sıcaklık çizdirilmiştir. Ayrıca kare silindir üzerindeki direnç ve kaldırma kuvvetleri ile ortalama Nusselt sayısı değişimi incelenmiştir.

## 2. Problemin Tanımı ve Matematik Model

Serbest akış alanı içindeki izotermal kare silindir etrafındaki akış ve tümleşik (doğal+zorlanmış) taşınım sayısal olarak incelenmiştir. Kare silindir girişten  $20D$  uzaklıkta olup, aşağı akış bölgesindeki akışın doğru izlenebilmesi için silindir arkası mesafe  $40D$  olarak alınmıştır. Sistem geometrisi ve akış alanına uygulanan ağ yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1b'de sarı nokta ile belirtilen bölgede detaylı ağ yapısı çizdirilmiştir. Simülasyon hem hava ( $Pr=0.7$ ) hem de su ( $Pr=7$ ) için yapılmıştır.



**Şekil 1. A)** Ele alınan sistem geometrisi ve koordinat sistemi, **B)** akış alanı ağ yapısının yakından ve detaylı görünüşü.

İki boyutlu sıkıştırılamaz akış için geçici rejimde boyutsuz süreklilik, momentum ve enerji denklemleri sırasıyla aşağıdaki gibi yazılabilir.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

x-momentum denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + g\beta(T - T_0) \quad (2)$$

y-momentum denklemi:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \quad (3)$$

Enerji denklemi:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (4)$$

Burada  $u$  ve  $v$   $x$  ve  $y$  koordinat sistemindeki hız bileşenleri,  $t$  zaman,  $\rho$  yoğunluk,  $\nu$  kinematik viskozite,  $g$  yerçekimi ivmesi,  $\beta$  ısıl genleşme katsayısı,  $T$  sıcaklık,  $P$  basınç,  $\alpha$  ısı genleşme katsayısıdır. Akış alanı içerisindeki doğal taşınım, düşük sıcaklık farkları neticesinde yoğunluk gradyanı oluşumu esasına dayanmaktadır. Bu nedenle momentum denklemlerinde, kanal yüksekliğine paralel olan  $x$  doğrultusunda Boussinesq kabulü yapılmıştır (Avcıoğlu 2012). Hesaplamalarda uygulanan sınır şartlar:

Giriş:  $u = U_\infty, v = 0, T = T_\infty$

Sağ ve sol yüzeyler:  $u = U_\infty, v = 0, T = T_\infty$

$$\text{Çıkış: } \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

Silindir duvarları:  $u = 0, v = 0, T = T_w$

Sınır şartlardaki  $U_\infty$  ve  $T_\infty$  sırasıyla akışkan giriş hızı ve sıcaklığı,  $T_w$  ise silindir duvar sıcaklığını temsil etmektedir.

Bu parametrik çalışmada akış ve ısı transferi karakteristiklerinin hesaplanması için bazı boyutsuz parametrelerin değişimleri göz önüne alınmıştır. Bu boyutsuz sayılar ise Reynolds, Richardson, Rayleigh, Grashof ve Prandtl sayılarıdır. Bu boyutsuz sayılar sırasıyla,

$$\begin{aligned} Re &= U_\infty D / \nu, Ri = Gr / Re^2, Ra = g\beta(T_w - T_\infty) D^3 / \nu \alpha, \\ Gr &= Ra / Pr, Pr = \nu / \alpha \end{aligned} \quad (5)$$

ile tanımlanır (Incropera vd. 2015). Çalışmada kare silindir bir kenarına göre tanımlanmış olan Reynolds sayısının 100, 150, 200 değerlerinde, Richardson sayısı 0 ile -0.5 değerleri arasında değiştirilmek suretiyle gerçekleştirilmiştir.

Kare silindir için kaldırma ve sürüklenme katsayısı sırasıyla,

$$C_L = \frac{2F_y}{\rho U_\infty^2 A}, C_D = \frac{2F_x}{\rho U_\infty^2 A} \quad (6)$$

ile hesaplanır. Burada  $F_y$  ve  $F_x$  sırasıyla  $x$  ve  $y$  yönündeki kuvvet bileşenleridir,  $A$  iz düşüm alanıdır.

Kare silindir üzerinden alan ortalamalı olarak hesaplanmış Nusselt sayısı,

$$Nu = \frac{hD}{k} = \frac{1}{A_s} \int_{A_s} Nu_{D,s} dA_s \quad (7)$$

ile hesaplanır. Burada  $h$  ortalama ısı taşınım katsayısı,

**Çizelge 1.** İki farklı ağ yapısından elde edilen sayısal simülasyonların literatürde sunulan sonuçlar ile karşılaştırılması.

	Nu	C <sub>D</sub>	C <sub>L</sub> (rms)	St
Ağ - 1	4.123	1.489	0.206	0.145
Ağ - 2	3.977	1.442	0.175	0.147
Okajima (1982) - deneysel		1.593		0.142
Sharma ve Eswaran (2004)	4.010		0.192	0.152
Sen vd. (2011)		1.529	0.191	0.149
Mahir ve Altaç (2019)	4.020	1.433	0.176	0.152

**Çizelge 2.** Ağ 2 ile Re=100 ve Pr=0.7 için zaman adımının ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi.

	Δt			
	0.01	0.05	0.1	0.2
Nu	3.9827	3.9765	3.9266	3.8674

D karakteristik uzunluktur yani kare silindirin bir kenar uzunluğu, A<sub>s</sub> ise ısıtılan kare silindir yüzeyinin alanıdır.

### 3. Nümerik Çözüm Detayları

Süreklilik, momentum ve enerji denklemleri FLUENT® yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Taşınım terimlerinin ayrıklaştırılmasında ikinci mertebeden şema, çözüm algoritması olarak SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Korunum denklemlerinin her biri için yakınsama kriteri 10<sup>-5</sup> seçilmiştir.

Çözümün ağdan bağımsızlığını test etmek için 2 farklı ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ yapısı oluşturmak için Gambit® programından yararlanılmıştır. Size function komutu kullanılarak başlangıç ağı (start size) 0.01 ve büyüme oranı (Growth rate) 1.05 seçilmiştir. Daha sonra Fluent programında bölgesel adaptasyon (x eksen:0-60D; y eksen:10-60D) uygulanmıştır. Bu işlem bir kez yapıldığında Ağ 1, ikinci kez yapıldığında ise Ağ 2 yapısı oluşmuştur. İki ağ yapısı da üçgen elemanlardan oluşturulmuştur. Ağ 1'de 29,749 düğüm sayısı (58,938 hücre sayı), Ağ 2'de ise 141,496 düğüm sayısı (281,986 hücre sayı) bulunmaktadır. Ağ 2'de özellikle aşağı akış bölgesi ve silindir etrafında ağ yapısını sıklaştırmak için bölgesel adaptasyon işlemi yapılmıştır. Şekil 1b'de akış alanına uygulanan ağ yapısı gösterilmiştir. Çizelge 1'de iki farklı ağ yapısından elde edilen sayısal simülasyonların literatürde sunulan sonuçlar ile karşılaştırılması verilmiştir. Ağ 2'nin literatürde verilen değerlerinde ortalama Nusselt sayısı, C<sub>D</sub> ve C<sub>L,rms</sub> katsayıları ve St sayısındaki maksimum yüzde bağıl hataları sırasıyla %1, %9.5, %9 ve %6.5 şeklindedir. Ağ 2 ile hesaplanan

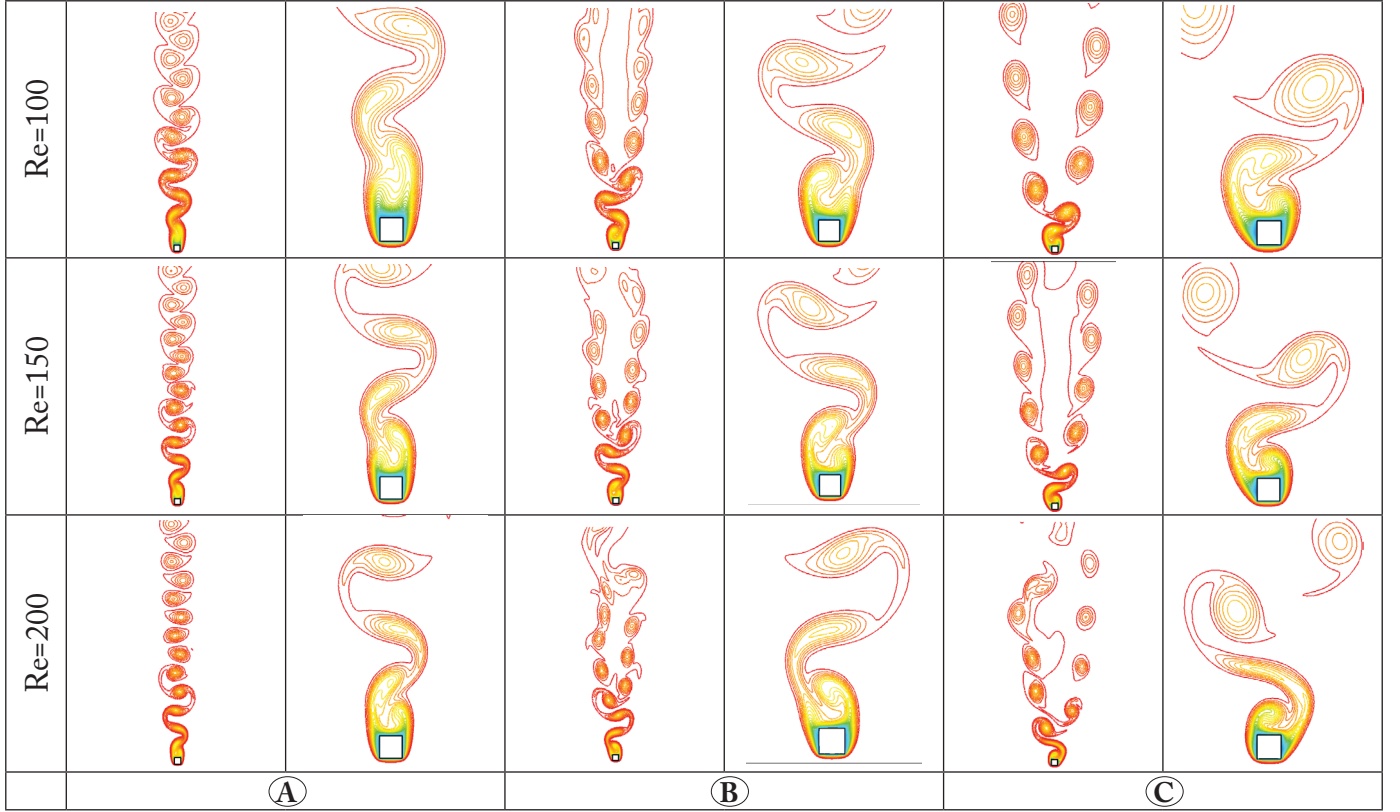
değerlerin literatür ile uyumlu olduğuna karar verilip, diğer tüm çözümler bu ağ yapısı ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2'de zaman adımının çözüm üzerinde etkisi, Ağ yapısı 2, Re=100 ve Pr=0.7 için gösterilmektedir. Zaman adımının 0.05 ve 0.01'e alınması durumunda ortalama Nusselt sayısında yaklaşık %0.16'lık bir değişim göstermiştir. Δt = 0.05 zaman adımı simülasyonun cpu ekonomisi açısından anlamlı ve doğru sonuçlar elde etmeye yeterli olduğu bu şekilde belirlenmiştir.

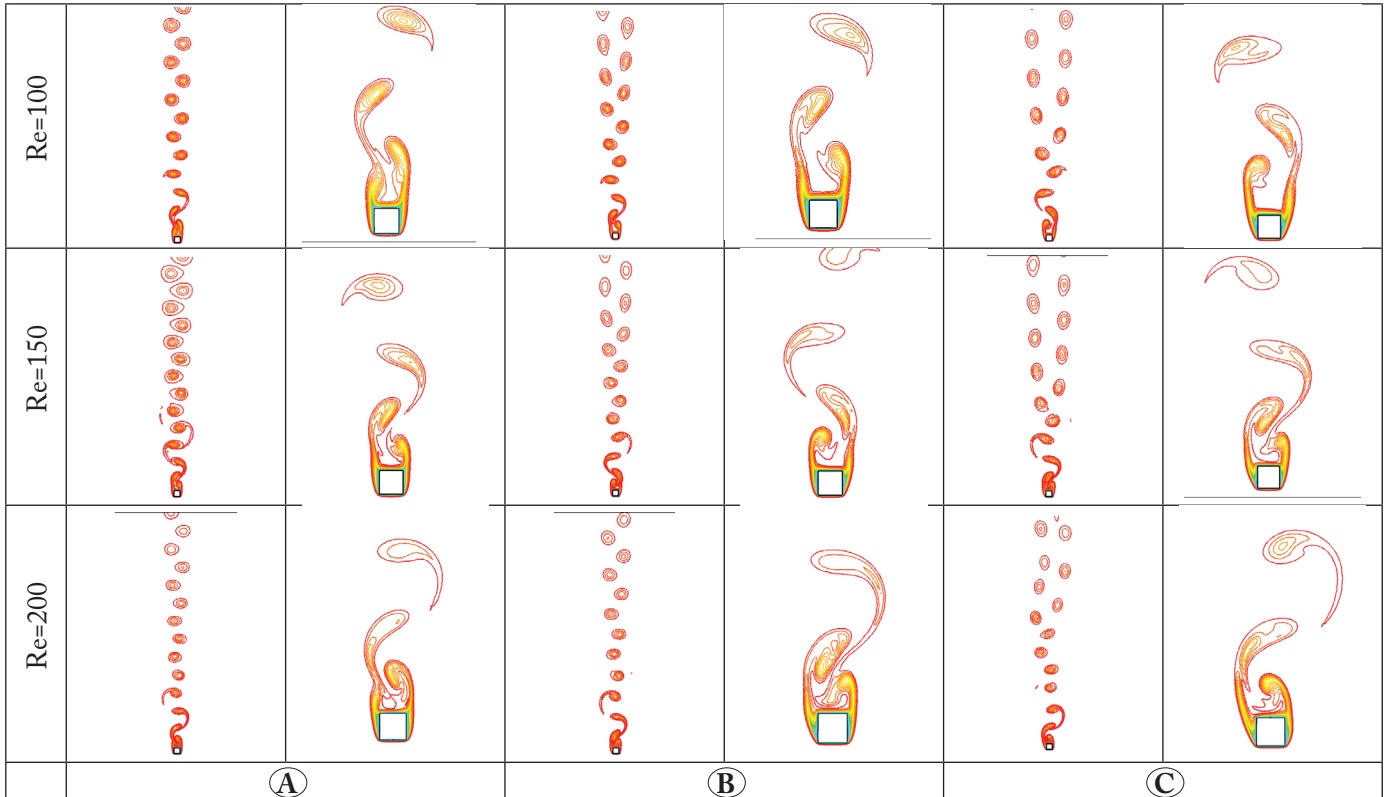
### 4. Bulgular

Pr=0.7 için kare silindir arkası akış bölgesindeki eş sıcaklık eğrilerinin Reynolds ve Richardson sayıları ile değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Silindir etrafındaki girdap atma sürecinin daha iyi görülebilmesi için eş sıcaklık eğrileri ve eş zamanlı girdap eğrilerinin yakından görüntüleri verilmiştir. Yakından verilen eş sıcaklık eğrilerinde kopma yerlerinin belirgin görülebilmesi için eğrilerin çizgileri seyrekleştirilmiştir. Eş sıcaklık ve girdap eğrileri benzer olduğu gözlenmiştir. Üç Reynolds sayısında da kare silindirin iz bölgesinde periyodik vorteksler meydana gelmektedir. Ri=0'da tek bir vorteks sırası gözlenirken, doğal taşınımın aktif olduğu Ri=-0.25 ve -0.5 değerlerinde iki vorteks sırasının oluştuğu tespit edilmiştir. Reynolds sayısı artıkça iki sıralı vortekslerin iz bölgesinde silindirlere daha yakın mesafede oluştuğu görülmektedir. Örneğin; Ri=-0.5'deki Re=100'de yaklaşık 12D oluşan çevrintideki bölünme, Re=200'de 8D civarında oluşmaktadır. Ayrıca aynı Reynolds sayılarında, Ri sayılarının artması ile iz bölgesinin genişliğini de arttığı görülmektedir.

Pr=7 için kare silindir arkası akış bölgesindeki eş sıcaklık eğrilerinin Reynolds sayıları ile değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Ri=0'da kare silindir arka iz bölgesinde oluşan girdapların da Pr=0.7'ye benzer şekilde tek sıra oluşturdukları görülmektedir. Ri=-0.25 ve -0.5'de iz bölgesinde oluşan girdaplar aşağı akış bölgesinde iki sıra oluştururlar. Bu Ri sayılarında silindirin arkasındaki iz bölgesi Pr=0.7'deki kadar geniş değildir. Soğuyan akışkanın yoğunluğu artar ve



Şekil 2. Pr=0.7 ve A) Ri=0, B) Ri=-0.25 C) Ri=-0.5 için sıcaklık (solda) ve girdap (sağda) eğrileri.



Şekil 3. Pr=7 ve A) Ri=0, B) Ri=-0.25 C) Ri=-0.5 için sıcaklık (solda) ve girdap (sağda) eğrileri.



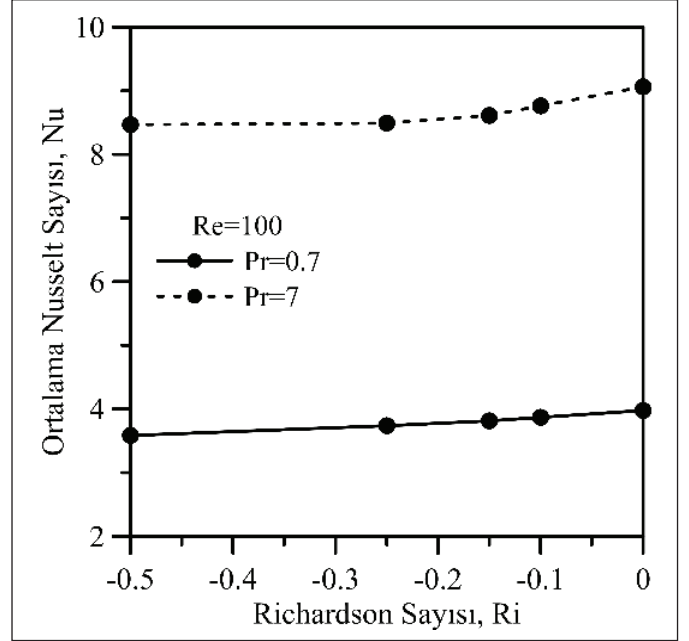
aşağı doğru hareket etmek ister. Bu durumda akışa zıt yönlü doğal taşınım etkileri meydana gelir. Özellikle  $Ri$  sayısının mutlak değeri arttığında engelleyici doğal taşınım etkileri arttığından, silindir duvarı sınır katmanını üzerindeki girdap atma sürecini yavaşlatır ve dökülme sürecini engeller.

$Re=150$  için  $Ri$  ve  $Pr$  sayılarına göre Strouhal sayıları Şekil 4'te verilmiştir. Salınlımlı akışta akış mekanizmasını belirleyen boyutsuz Strouhal sayısı ( $St$ )  $fD/U_\infty$  ile tanımlanır (Şentürk 2018). Burada  $f$  çevrinti oluşumunun frekansı ( $f'$ )'dir. Yalın zorlanmış taşınım şartlarında ( $Ri=0$ ) ve  $Re=100, 150$  ve  $200$  için elde edilen Strouhal sayılarının Prandtl sayısının  $0.7$  ve  $7$  değerlerinde bir birine çok yakın olduğu görülmüştür.  $Ri$  sayısının mutlak değeri arttığında engelleyici doğal taşınım etkileri arttığından, silindir duvarı sınır katmanını üzerindeki girdap atma sürecini yavaşlatır ve dökülme sürecini engeller. Bu yüzden engelleyici akıştaki  $Ri$  sayısının mutlak değerinin artması Strouhal sayısının düşmesine sebep olmaktadır. Ayrıca havanın ısı yayılma değeri suya göre daha yüksek olması nedeniyle Strouhal sayısı daha düşük çıkmıştır.

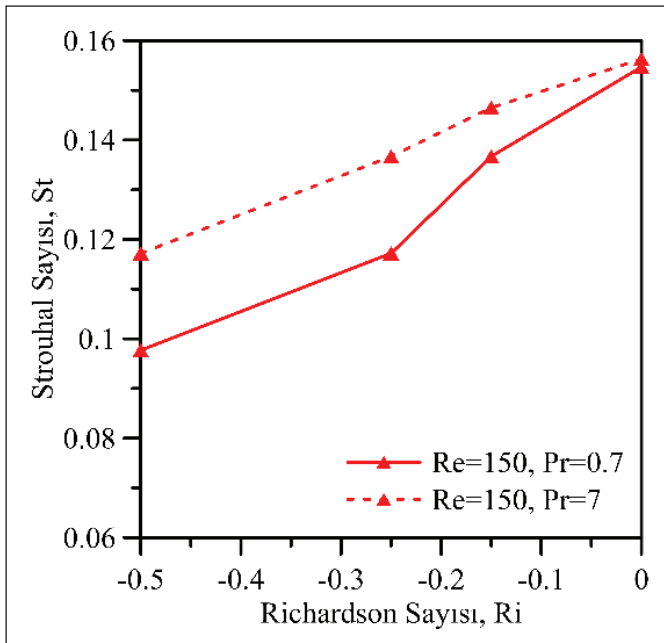
Hava ve su için kare silindir üzerindeki ortalama Nusselt sayısının  $Re=100$ 'de  $Ri$  sayısı ile değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir.  $Ri$  sayısının azalması ile ortalama Nusselt sayısı her iki Prandtl sayısında da azalma göstermektedir. Doğal taşınım zorlanmış taşınımı engelleyici durumda olduğu için bu zaten beklenen bir durumdur. Her iki Prandtl sayısındaki azalma eğilimi benzerdir.  $Pr=0.7$ 'de,  $Ri=0$ 'daki

ortalama Nusselt sayısı ile  $Ri=-0.5$ 'teki ortalama Nusselt sayısı arasındaki mutlak fark yaklaşık %35'tir. Suyun ortalama Nusselt sayısı havaya göre daha fazla çıkmıştır.

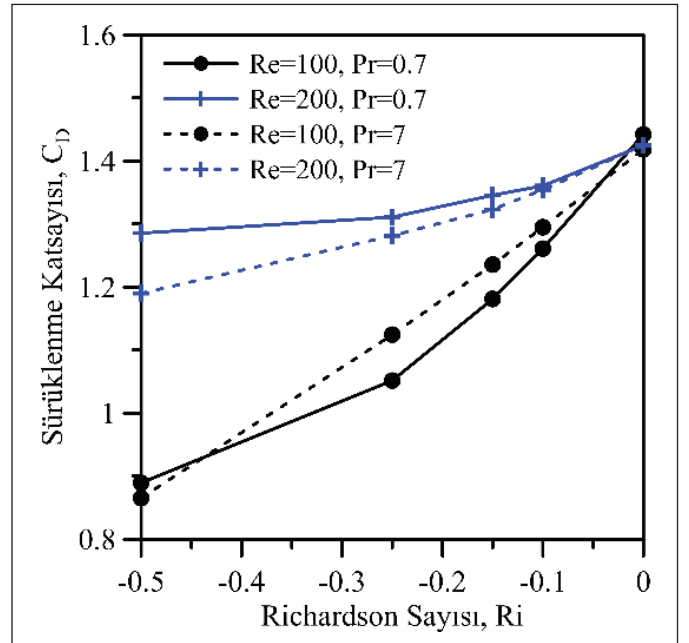
Şekil 6'da  $Pr=0.7$  ve  $7$  için Richardson ve Reynolds sayıları ile ortalama sürüklenme ( $C_D$ ) katsayısının değişimi gösterilmektedir.  $Ri=0$  olması durumunda  $Pr=0.7$  ve  $7$  için



Şekil 5. Kare silindir üzerindeki  $Nu$  sayılarının  $Re=100$ 'de  $Pr$  ve  $Ri$  sayılarına göre değişimi.



Şekil 4.  $Re=150$ 'de Strouhal sayısının Richardson ve Prandtl sayılarıyla değişimi.



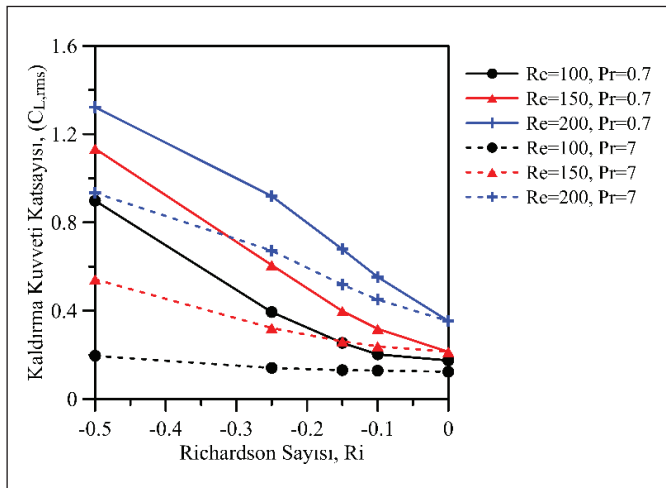
Şekil 6. Kare silindir üzerindeki sürüklenme katsayısının  $Re$  ve  $Ri$  sayılarına göre değişimi.

$C_D$  sayıları bütün Re sayıları için bir birlerine çok yakındır. Ri sayısının mutlak değer olarak artması durumunda bütün incelenen Re sayılarında ortalama sürüklenme katsayısının azaldığı görülmektedir. Akış yönüne ters yönde etki eden doğal taşınım, silindirin ön yüzeyi ve arka yüzeyi arasındaki basınç farkının azalmasına ve dolayısıyla sürünme kuvvet katsayısının azalmasına yol açmaktadır. Re =100 ve Richardson sayısının 0 ve -0.4 arasındaki değerlerinde Pr = 7 olması durumunda sürüklenme katsayılarının Pr=0.7 ye göre daha büyük değerlerdedir. Re=200 olması durumunda ise bunun tersi olduğu, Pr=0.7 için Ri sayılarının daha büyük değerler aldığı görülmektedir.

Kare silindir üzerindeki ortalama kaldırma kuvvetinin ortalama kare kök değerlerinin Ri sayısı ile değişimi Şekil 7'de verilmiştir. Kaldırma kuvveti katsayılarının rms (kare ortalama kök) değerleri, geçici rejimde silindirde üzerindeki kaldırma kuvvetinin genliğinin bir ölçüsünü verir. Girdap oluşmadığından,  $C_L$ 'nin değerleri pratik olarak sıfırdır. Ri değeri azaldıkça  $C_{L,rms}$  değerleri artmış ve Pr = 0.7'nin  $C_{L,rms}$  değerleri Pr=7'ye göre daha büyük çıkmıştır. Şekil 2 ve 3 de görüldüğü gibi Pr= 0.7 olması durumunda silindirin arkasındaki iz bölgesi daha geniştir. Burada oluşan vorteksler silindir üzerindeki kaldırma kuvvetinde daha büyük salınımlara neden olmaktadır.

## 5. Tartışma

Bu çalışmada, Pr=0.7 ve Pr=7 akışkanların izotermal kare silindirden tümlleşik taşınım ile akışı ve ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal analizde Re=100-200 ve Ri=-0.5-0 aralığında değiştirilmiştir. Bu sayısal çalışmada eş



Şekil 7. Kare silindir üzerindeki kaldırma kuvveti kare ortalama kök değerlerinin Re ve Ri sayılarına göre değişimi.

sıcaklık eğrileri, ortalama Nusselt ve Strouhal sayısı, kaldırma ve sürüklenme katsayıları analiz sonuçlarında elde edilmiştir. Çizelge 1'de verilen çözümlerinde Re=100, Pr=0.7, Ri=0 parametreleri için analiz yapılmıştır. Çizelge 1'de görüldüğü gibi Nu,  $C_D$ ,  $C_L$  (rms) ve St değerleri literatürdeki (Sharma ve Eswaran 2004a, Sen vd. 2011, Mahir ve Altaç 2019) değerleri ile uyumludur.

Ri sayısı azaldıkça (doğal taşınım etkileri arttıkça) ortalama Nusselt sayısının azaldığı görülmüş olup, literatürde yer alan diğer çalışmalar ile paralellik içerisinde olduğu belirlenmiştir (Sharma ve Eswaran, 2004b, Houssein ve Mohamed 2017, ).

Yalın zorlanmış taşınımında (Ri=0 iken) Prandtl sayısının Strouhal sayısı üzerindeki etkin olmadığı Altaç vd. (2019) çalışmalarında vurgulanmıştır. Bu çalışmada da Ri=0 olması durumunda Pr=0.7 ve 7 için St sayıları birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Ayrıca engelleyici doğal taşınım şartlarında (Ri<0 durumunda) Ri sayısı azaldıkça St sayısı bu çalışmada olduğu gibi literatürde de azalma eğilimindedir (Chang ve Sa 1990, Patnaik vd. 1999, Sharma ve Eswaran 2004b).

Bunlara ek olarak; bu çalışmada Ri sayısı azaldıkça ortalama sürüklenme katsayısı azalmış, fakat kaldırma kuvveti (rms) değerinin arttığı tespit edilmiştir. Isıtılmış/soğutulmuş dairesel bir silindirden girdap atma olgusu, tümlleşik doğal ve zorlanmış konveksiyon rejimlerinde sayısal olarak Chang ve Sa (1990) tarafından araştırılan çalışmada da yздürme kuvvetlerinin zorlanmış taşınımına ters yönlü olduğu durumda Ri sayısı azaldıkça ortalama sürüklenme katsayısının azaldığını bulmuşlardır. Aynı şekilde Patnaik vd. (1999) yaptığı çalışmada da Ri sayısı azaldıkça  $C_D$  değerinin azaldığını,  $C_{L,rms}$  değerinin arttığı tespit edilmiştir.

## 6. Kaynaklar

- Ahmad, S., Arifin, N. M., Nazar, R., Pop, I. 2009. Mixed convection boundary layer flow past an isothermal horizontal circular cylinder with temperature-dependent viscosity. *Int. J. Therm. Sci.* 48(10): 1943–1948. Doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2009.02.014
- Avcıoğlu, S. 2012. Ev tipi buzdolabı soğutucu bölgesinde sıcaklık dağılımının deneysel ve sayısal incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 77 s.
- Altaç, Z., Sert, Z., Mahir, N., Timuralp, Ç. 2019. Mixed convection heat transfer from a triangular cylinder subjected to upward cross flow. *Int. J. Therm. Sci.* 137: 75-85. Doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2018.11.010

- Chang, K. S., Sa, J. Y. 1990.** the effect of vortex shedding in the near wake of a circular cylinder. *J. Fluid Mech.* 220: 253–266. Doi: 10.1017/S002211209000324X
- Churchill, S. W., Bernstein, M. 1977.** A correlating equation for forced convection from gases and liquids to a circular cylinder in crossflow. *J. Heat Trans.* 99 (2): 300–306. Doi: 10.1115/1.3450685
- Dhiman, A. K., Sharma, N., Kumar, S. 2014.** Buoyancy-aided momentum and heat transfer in a vertical channel a built-in square cylinder. *Int. J. Sust. Ener.* 33(5): 963–984. Doi: 10.1080/14786451.2013.764878
- Gandikota, G., Amiroudine, S., Chartterjee, D., Biswas, G. 2010.** The effect of aiding/opposing buoyancy on two-dimensional laminar flow across a circular cylinder. *Numer. Heat. Tr. A-Appl.* 58: 385–402. Doi: 10.1080/10407782.2010.505167
- Guillen, I., Trevino, C., Martinez-Suastegui, L. 2014.** Unsteady laminar mixed convection heat transfer from a horizontal isothermal cylinder in contra-flow: Buoyancy and wall proximity effects on the flow response and wake structure. *Exp. Therm. Fluid Sci.* 52: 30–46. Doi: 10.1016/j.expthermflusci.2013.08.019
- Houssein, L., Mohamed, B. 2017.** The Effect of asymmetrically confined circular cylinder and opposing buoyancy on fluid flow and heat transfer. *Defect Diff. Forum.* 374: 18–28. Doi: 10.4028/www.scientific.net/DDF.374.18
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Theodore, L. B., Lavine, A. S. 2015.** Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri. Palme Yayınevi, ISBN: 9786053552826, 1046 s.
- Jassim, S. L. G. 2010.** Numerical study of the mixed convection flow over a square cylinder. *Iraqi J. Chem. Petro. Eng.* 11(1): 29–45. Doi:-
- Mahir, N., Altaç, Z. 2019.** Numerical investigation of flow and combined natural-forced convection from an isothermal square cylinder in cross flow. *Int. J. Heat Fluid Fl.* 75: 103–121. Doi: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2018.11.013
- Moulai, S., Korichi, A., Polidori, G. 2016.** Aided mixed convection past a heated square cylinder at low blockage ratio. *J. Appl. Fluid Mech.* 9(1): 303–310. Doi: 10.18869/acadpub.jafm.68.224.22891
- Okajima, A. 1982.** Strouhal numbers of rectangular cylinders. *J. Fluid Mech.* 123: 379–398. Doi: -
- Patel, S. A., Chhabra, R. P. 2016.** Laminar free convection in Bingham plastic fluids from an isothermal elliptic cylinder. *J. Thermophys. Heat Tr.* 30(1), 154–168. Doi: 10.2514/1.T4578
- Patnaik, B. S. V., Narayana, P. A. A., Seetharamu, K. N. 1999.** Numerical simulation of vortex shedding past a circular cylinder under the influence of buoyancy. *Int. J. Heat Mass Trans.* 42: 3495–3507. Doi: 10.1016/S0017-9310(98)00373-1
- Salcedo, E., Cajas, J. C., Trevino, C., Martinez-Suastegui, L. 2016a.** Unsteady mixed convection heat transfer from two confined isothermal circular cylinders in tandem: Buoyancy and tube spacing effects. *Int. J. Heat Fluid Fl.* 60: 12–30. Doi: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2016.04.001
- Salcedo, E., Cajas, J. C., Trevino, C., Martinez-Suastegui, L. 2016b.** Numerical investigation of mixed convection heat transfer from two isothermal circular cylinders in tandem arrangement: buoyancy, spacing ratio, and confinement effects. *Theor. Comp. Fluid Dyn.* 31: 159–187. Doi: 10.1007/s00162-016-0411-z
- Salcedo, E., Trevino, C., Palacios-Morales, C., Zenit, R., Martinez-Suastegui, L. 2017.** Experimental study on laminar flow over two confined isothermal cylinders in tandem during mixed convection. *Int. J. Therm. Sci.* 115: 176–196. Doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2017.01.015
- Sen, S., Mittal, S., Biswas G. 2011.** Flow past a square cylinder at low Reynolds numbers. *Int. J. Numer. Meth. Fluids* 67: 1160–1174. Doi: 10.1002/flid.2416
- Sharma, A., Eswaran, V. 2004a.** Heat and fluid flow across a square cylinder in the two-dimensional laminar flow regime. *Numer. Heat. Tr. A-Appl.* 45 (3): 247–269. Doi: 10.1080/10407780490278562
- Sharma, A., Eswaran, V. 2004b.** Effect of aiding and opposing buoyancy on the heat and fluid flow across a square cylinder at Re=100. *Numer. Heat. Tr. A-Appl.* 45(6): 601–624. Doi: 10.1080/10407780490277798
- Sharma, N., Dhiman, A. K., Kumar, S. 2012.** Mixed convection flow and heat transfer across a square cylinder under the influence of aiding buoyancy at low Reynolds numbers. *Int. J. Heat Mass Tran.* 55 (9-10): 2601–2614. Doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.12.034
- Singh, S., Biswas, G., Mukhopadhyay, A. 1998.** Effect of thermal buoyancy on the flow through a vertical channel with a built-in circular cylinder. *Numer. Heat. Tr. A-Appl.* 34 (7): 769–789. Doi: 10.1080/10407789808914015
- Singh, S K., Panigrahi, P. K., Muralidhar, K. 2007.** Effect of buoyancy on the wakes of circular and square cylinders: a schlieren-interferometric study. *Exp. Fluids.* 43(1): 101–123. Doi: 10.1007/s00348-007-0329-8
- Şentürk, U. 2018.** Serbest akım içerisinde salınan bir silindir etrafındaki akışın ataletsiz koordinatlarda sayısal incelenmesi. *Pamukkale Univ. Muh. Bilim. Derg.* 24(1): 13–18. Doi: 10.5505/pajes.2017.92195
- Zeion, O., Mohamed, A., Nuhait, A. 2011.** Convective heat transfer around a triangular cylinder in an air cross flow. *Int. J. Therm. Sci.* 50 (9): 1685–1697. Doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2011.04.011

- Zhang, N., Rong, L. W., Dong, K. J., Zeng, Q. D. 2020.** Fluid flow and heat transfer characteristics over a superelliptic cylinder at incidence. *Powder Technol.* 2020: 193-208. Doi: 10.1016/j.powtec.2019.09.076
- Zhang, W., Samtaney, R. 2016.** Numerical simulation and global linear stability analysis of low-Re flow past a heated circular cylinder. *Int. J. Heat Mass Tran.* 98: 584-595. Doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.03.058
- Zhu, H., Tang, T., Zhou, T., Liu, H., Zhong J. 2020.** Flow structures around trapezoidal cylinders and their hydrodynamic characteristics: Effects of the base length ratio and attack angle. *Phys. Fluids.* 32: 103606. Doi: 10.1063/5.0021043





# Deprem Yükleri Etkisindeki Çelik Yapı Elemanların Birleşim ve Ekleri İçin Türkiye'deki Mevcut Yönetmeliklerde Tanımlanan Önçekmeli Yüksek Dayanımlı Yapısal Bulon Koşullarının Değerlendirilmesi ve Deprem Tasarım İlkelerine Yönelik Öneriler

*Review and Recommendations for Preloaded High Strength Structural Bolts Used for Steel Element Connections and Joints Under Seismic Loads Per Turkish Seismic Code Requirements and Design Principals*

Ahmet Muhtar Çıtıptıoğlu\* 

TAV Tepe Akfen Yatırım İnşaat ve İşletme A.Ş., Vadistanbul, Sarıyer, İstanbul

## Öz

Yer hareketleri altındaki bir binanın taşıyıcı yapı sisteminin tasarımında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirlenen performans hedefini sağlamak için sünek tasarım ilkeleri esastır. Yönetmelikler, deprem yükleri etkisindeki elemanların birleşim ve eklerinde 8.8 veya 10.9 kalitesinde yüksek dayanımlı TS EN 14399 standardındaki bulonların tam önçekme verilerek kullanılmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada deprem yükleri etkisindeki elemanların birleşim ve ekleri için Türkiye'deki mevcut yönetmeliklerde tanımlanan önçekmeli yüksek dayanımlı yapısal bulon koşulları incelenmektedir. TS EN 14399'de yaygın olarak kullanılan iki farklı HR ve HV tipi bulon düzeneklerinin yönetmelikte eşdeğer tutulmalarına rağmen, geometrileri farklı olmasından dolayı farklı şekilde davranmaktadır. Çekme yükleri altında HR tipi bulonların geometrisi, gövde kesitinin akarak sünek bir şekilde kopmasını sağlayacak şekilde biçimlendirilmiştir. HV bulonların dişli gövde boyunun kısa ve somunlarının ince olmasından dolayı çekme yükleri altında veya önçekme yükü uygulanırken diş sıyrılmamasıyla sünek olmayan bir şekilde kopabilmektedir. Deprem sırasında yüklem döngüsünde bağlantılara etki eden yüklerin dayanım kapasitesini aşması durumunda diş sıyrılmamasıyla bulonun kopması, birleşimin sünek olmayan bir sınır durumu yaratmış olacaktır. Deprem yükleri altında amaçlanan tasarım ilkelerine uygun olmayan bir şekilde diş sıyrılmamasının birleşim elemanların yapı bütünlüğüne yaratacağı riskten dolayı Deprem Yönetmeliği'nde HV bulon düzeneklerin deprem yükleri etkisindeki elemanların birleşim ve eklerinde kullanılmasına izin verilmemesi önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Önçekme, Yüksek dayanımlı bulon, Çelik birleşim, Deprem tasarım, Sünek tasarım

## Abstract

Provisions for preloaded high strength bolt for steel element connections under seismic loads in Turkish design codes are reviewed. Ductile design is essential to achieve targeted performance levels for load bearing structural systems under seismic loads in the Turkish Seismic Code. Codes require the use of preloaded 8.8 or 10.9 high strength bolts per TS EN 14399 for the connections of elements subjected to seismic loading. The most commonly used HR and HV type TS EN 14399 bolts are not differentiated in the code although their structural behavior is very different due to their geometry. HR type bolts are shaped to yield and fail in a ductile manner under axial loads. HV bolts have a shorter threaded length and thin nuts resulting in thread yielding and brittle thread stripping failure while preloading or under axial loads. Bolts failing with thread stripping during an earthquake will cause non-ductile connection failure. Due to risk of thread yielding and stripping which result in a connection behavior counter to seismic design principals the author recommends that HV type bolts not be allowed to be used in structural connections of steel elements resisting seismic loads in the Turkish design codes.

**Keywords:** Preload, High strength bolts, Steel connection, Seismic design, Ductile design

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

## 1. Giriş

İnşaat yapılarında demir ve çelik kullanılmaya başlamasıyla yapısal elemanların perçinler ve sonra da yüksek mukavemetli bulonlar kullanılarak birleştirilmesi yaygınlaşmıştır. Geçmişte kaynak ve büyük yapısal kesitlerin eksikliği nedeniyle, özellikle binalardaki moment aktaran çerçevelerin bağlantılarında istenen yapıyı oluşturmak için çok sayıda perçin kullanılarak çeşitli kesit ve plakalar karmaşık bir şekilde birleştirilmiştir. Daha sonraları kaynak teknolojisi perçinlemenin yerini almış fakat birleşimlerin birkaç çelik eleman ve plakanın saha kaynağını gerektirecek şekilde tasarlanmasına devam edilmiştir. Perçin ve kaynak, vasıflı işçilik ve kapsamlı kalite kontrol gerektirmeleri nedeniyle saha uygulaması için pratik olmadığından, yüksek dayanımlı bulonların kullanımı perçin kullanımının yerini almıştır. Perçinlerde olduğu gibi doğrudan ezilme ve doğrudan çekme yerine veya buna ek olarak, bulonlara öncekme uygulayarak, sürtünme ve kenetleme yoluyla elemanları birbirine bağlayarak alternatif bir yük transfer mekanizması sağlanmaktadır.

Kaynaklı birleşimlerle karşılaştırıldığında, yüksek dayanımlı bulon kullanımının çeşitli avantajları bulunmaktadır. Saha dışında kalite kontrol önlemleri ile önceden üretildiğinden, kalite kontrol önlemleri ile önceden üretildiğinden, bulonlu birleşimlerde güvenilir bir şekilde mukavemet ve davranışının sağlanması daha kolay ve ucuzdur. Ayrıca sahada bulonların montajı vasıflı işçilik ve özel cihazlarla kalite kontrol önlemleri gerektirmez, montajı basittir ve minimum alet gerektirmektedir.

1994 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya Eyaleti'nde yaşanan Northridge depremini sonrasında çeşitli kaynaklı moment aktaran çerçeve birleşimlerinde ciddi çatlaklar ve hasarlar görülmesi nedeniyle yönetmeliklere daha katı tasarım kuralları getirilmiş ve kaynaklı birleşimler için deneysel ve/veya analitik yöntemlerle kanıtlanmış olmaları gerekliliği benimsenmiştir. Bu gelişmeyle bulonlu bağlantılara yönelik daha fazla ilgiye ve araştırmanın yapılmasına neden olmuştur. Kaynaklı bağlantıların kusurları ve daha sıkı tasarım kurallarının gerekliliği hakkındaki bulgular, yüksek dayanımlı bulonlar kullanarak alternatif bağlantıların ve onarım yöntemlerinin incelenmesini gündeme taşımıştır.

Yapılan araştırmalar da rijit olarak kabul edilen kaynaklı bağlantılarla karşılaştırıldığında, doğrudan bağlantı sağlamamasından dolayı geleneksel olarak bulonlu birleşimler yarı rijit olarak kabul edildiği görülmektedir. Bulonlu birleşimlerin göreceli olarak daha düşük rijitliğe sahip olur var

sayılır. Ancak yapılan deneyler, bulonlu birleşimlerin uygun şekilde tasarlandıklarında birleştirilen kirişlerinin tam moment kapasitesine ulaşabileceğini göstermiştir (Kasai vd. 1998). Bulonlu ve kaynaklı birleşimli çelik çerçevelerin şiddetli yer hareketi altında yer değiştirmeleri bakımından çok farklı olmadıkları da gözlemlenmiştir (Akbas ve Shen 1995).

Türk Bina Deprem Yönetmeliği ise (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı 2018) bu çalışmaların ışığında, performans gereksinimlerinin karşılandığını doğrulamak için yalnızca önceden onaylanmış birleşimler veya test edilmiş birleşimlerin kullanılmasını gerektirmektedir. Yönetmelik tasarımcı için, geçerliliği kanıtlanmış iki farklı tam dayanımlı bulonlu birleşim tanımlanmaktadır. Ayrıca, bu birleşimlerde TS EN 14399 standardına uygun bulon kullanılmasını gerektirmektedir, ancak bu standart dahilinde farklı tip bulonların yapısal davranışı açısından bir ayırım yapılmamaktadır.

Bu makale, deprem yükleri etkisindeki çelik yapı elemanların birleşim ve ekleri için yönetmeliklerde tanımlanan ve Türkiye'de yaygın olarak kullanılan TS EN 14399 standartlarına uygun HR ve HV tipi öncekmeli yüksek dayanımlı yapısal bulonların saha uygulamalarıyla davranışlarını incelemektedir. HV bulonların deprem yüklerini aktaran elemanların birleşim ve eklerinde amaçlanan tasarım ilkelerine uygun olmamasından ile özellikle montajı sırasında dış sıyrılma ihtimalinin kalite kontrol ile tespitinin zor olmasının yapı bütünlüğüne yaratacağı riskten dolayı kullanılmasına izin verilmemesi önerilmektedir.

## 2. Gereç ve Yöntem

Çalışmada, deprem yükleri etkisindeki çelik elemanların birleşimin tasarımında kullanılan öncekmeli yüksek dayanımlı bulonların uygulama koşulları ele alınmaktadır. Deprem yükleri etkisinde bir yapı değerlendirilirken, elemanların modellenmesinde kullanılan doğrusal olmayan yük-şekildeğiştirme davranış tiplerinin tanımları baz alınarak, bulonlu birleşimler için Türkiye'deki ilgili farklı yönetmeliklerde yer alan davranış şartları tespit edilmektedir.

Şartnamelerde tanımlanan farklı öncekmeli yüksek dayanımlı bulon tiplerinin yapısal davranışlarını inceleyen, literatürde farklı çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda çekme yükleri altında bulonlarla fiziki deneyler ile detaylı sonlu eleman modelleri kullanılarak sayısal analizler yapılmıştır. Bu çalışmada deneyler ve analizler ile elde

edilen sonuçlar, şartnamelerde tanımlanan farklı yük-şekildeğiştirme davranış tipleriyle karşılaştırılarak deprem yükleri altındaki davranışın tasarım ilkeleriyle uyumluluğu değerlendirilmektedir.

### 2.1. Deprem Yükleri Etkisindeki Çelik Yapı Tasarımı için Türkiye'de Geçerli Yönetmeliklerinde ve Standartlar

Deprem yükleri etkisinde çelik yapı elemanların birleşim ve eklerin tasarımında geçerli başlıca yönetmelik olan "Türkiye bina deprem yönetmeliği" ("Deprem Yönetmeliği" veya TBDY 18) İçişleri Bakanlığına bağlı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığın yürüttüğü çalışmalar sonucunda hazırlanmış, 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin 9. bölümünde "Deprem etkisi altında çelik bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için özel kurallar" verilmiştir. Bu bölüm için yönetmelik ayrıca Çevre ve Şehircilik Bakanlığın çalışmalarıyla hazırlanıp, yapılan değişikliklerle en son 15 Şubat 2018'de yayınlanan "Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esaslarına dair yönetmelik'e (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2018) ("Çelik Yönetmeliği" veya ÇYTHYEDY 18) atıfta bulunmaktadır.

Çelik yönetmeliğin "Birleşim ve birleşim araçları" başlıklı 13. bölümünde birleşim elemanların tasarımı için kurallar yer almaktadır. Yüksek dayanımlı bulonlar için ilgili koşullar 13.3.3'te verilmektedir ve TS EN 14399-1 "Önyüklemeli yüksek mukavemet yapısal cıvatalama düzeneği" standardına atıfta bulunmaktadır. Ayrıca uygulama ve montaj kuralları için de TS EN 1090-2 "Çelik ve alüminyum yapı uygulamaları - Bölüm 1: Çelik yapılar için teknik gerekler" standardına yönlendirmektedir.

### 2.2. Deprem Yükleri Etkisinde Yapı Elemanların Doğrusal Olmayan Davranış Tanımı

Yer hareketleri altındaki bir binanın taşıyıcı yapı sistemi tasarımında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde belirlenen performans hedeflerinin sağlanmasında sünek tasarım ve kapasite tasarımı ilkeleri esastır.

Deprem etkisi altında binaların değerlendirilmesi ve tasarımı için şekildeğiştirme yaklaşımıyla performans değerlendirilmesinde: Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan iç kuvvet - şekildeğiştirme davranışı belirlenir; taşıyıcı sistemin performans hedef(ler)ine uygun deprem yer hareketleri altındaki doğrusal olmayan şekildeğiştirme ve dayanım talepleri elde edilip, öngörülen performans hedefleriyle karşılaştırması yapılır.

Mevcut binaların yer hareketi etkisinde değerlendirmesine ve güçlendirilmesine yönelik Amerikan şartnamesi ASCE

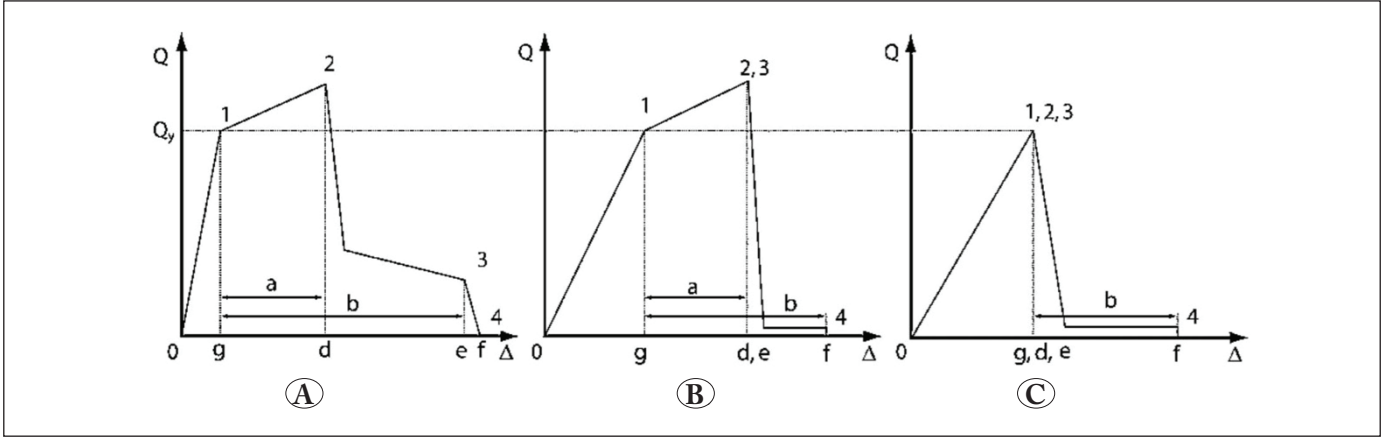
41-17'de verilen taşıyıcı sistemdeki elemanların sünek olan veya olmayan doğrusal olmayan farklı şekildeğiştirme davranışları Şekil 1'de gösterilmektedir. Burada üç farklı tip eleman davranışı tanımlanmaktadır:

- Tip 1, sünek şekildeğiştirme davranışında, elastik davranış (0-1 arası) sonrasında plastik davranış (1-3 arası) takip ediyor, sonrasında (3-4 arası) ise elemanın yük taşıma kabiliyeti kayboluyor. Plastik şekildeğiştirmede elemanın, dayanım kapasitesine erişildikten sonra (2-3 arası) az da olsa dayanım kapasitesi halen bulunmaktadır.
- Tip 2, sünek şekildeğiştirme davranışında, elastik davranış (0-1 arası) sonrasında plastik davranış (1-3 arası) takip ediyor. Elemanın dayanım kapasitesine erişildikten sonra (3) sonrasında ise elemanın yük taşıma kabiliyeti önemli ölçüde kayboluyor. Her iki tip davranışta plastik şekil değiştirmenin artan veya azalan eğimi olabilir ve bu davranış sergileyen elemanlar genelde şekildeğiştirme kapasitelerine göre değerlendirilir. Elemanların sünek davranışıyla şekildeğiştirme kapasitelerine göre değerlendirilmeleri için şartname: Tip 1 için Şekil 1(a)'daki parametrelere göre , Tip 2 için ise Şekil 1(b)'deki parametrelere göre olmasını gerektiriyor. Aksi durumda elemanın dayanım kapasitesine göre değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Tip 3, gevrek veya sünek olmayan şekildeğiştirme davranışında, elastik davranış (0-1 arası) ile elemanın dayanım kapasitesine erişildikten sonra hemen dayanım kaybı (3-4 arası) olmaktadır. Bu davranış sergileyen elemanlar dayanım kapasitelerine göre değerlendirilir.

Kabul görülecek bir tasarım için, hesap sonunda elde edilen elemanların şekildeğiştirme ve dayanım taleplerinin performans kriterince belirlenen kapasitelerinin altında olduğu gösterilmesi hedeflenmektedir.

Bu ilkelerle uyumlu olarak, deprem kuvveti taşıyıcı sistemlerin birleşimleri için genel koşullar TBDY 18'in 9. bölümünde verilmektedir. Bu bölümde, 9.3'te süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik çerçeveler ile 9.4'te süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çelik çerçeveler için koşullar verilirken, Ek 9A'da birleşimlerin genel koşulları, Ek 9B'de ise bu kiriş-kolon birleşimlerin detaylarının boyutlandırılması verilmektedir.

Yönetmelik süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerin birleşimlerinin en az 0.04 radyan, süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çelik çerçevelerin birleşimlerinin ise en az 0.02 radyan görelî kat ötelemesi



Şekil 1. ASCE41-17'de tanımlanan doğrusal olmayan eleman yük-yerdeğiştirme ilişkileri: A) Tip 1 Sünek, B) Tip 2 Sünek ve C) Tip 3 Gevrek veya Sünek olmayan davranış.

açısını (görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği) sağlayabilecek kapasitede olma koşulu tanımlamıştır. Bunun için, deneysel ve/veya analitik yöntemlerle geçerliliği kanıtlanmış olan detayların kullanılmasını veya geçerliliği kanıtlanmış olan çeşitli bulonlu birleşim detayı örnekleri ve bunların uygulama sınırlarını vermektedir. Belirlenen uygulama sınırları, birleşim elemanlarının, elastik olmayan şekil değiştirmelerin kiriş enkesitindeki akma nedeniyle meydana gelmesini sağlayacak yeterli dayanıma sahip olmaları esasına dayanmaktadır.

### 2.3. Kolon-Kiriş Birleşimlerinde Bulonların Doğrusal Olmayan Şekil Değiştirme Modeli ve Plastik Dönme Sınırları

Çelik yapıların şekil değiştirmeye göre performans değerlendirmesinde kullanılan itme yöntemleri veya zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminde taşıyıcı kiriş ve kolon elemanlarının uçlarında yığılı plastik mafsal olan çubuk sonlu elemanlarla modellenmesi yeterli olarak kabul edilir. Deprem Yönetmeliği'nde, bu hesap yöntemlerinde tam dayanımlı bulonlu alın levhalı birleşimler ile bulonlu başlık levhalı birleşimler için düğüm noktasında birleşimin rijitliğini ifade eden dönme yayları kullanılarak modellenmesi gerekmektedir. Çevrimsel davranış modeli olarak, çelik taşıyıcı sistemler için iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi göz ardı edilerek, yönetmelik elasto-plastik modelin kullanılmasını müsaade etmektedir (Şekil 2).

Hesaplanan şekil değiştirmelerin ilgili performans düzeyleri: Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH), ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) için izin verilen sınırlar Deprem Yönetmeliği Ek 5C bölümünde verilmiştir. Bu bölümde

moment aktaran çerçevelerin kolon-kiriş birleşim bölgeleri için farklı performans plastik dönme sınırları Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelgede yer verildiği gibi performans değerlendirmelerinde birleşimlerin dönme davranışında verilen plastik dönme sınırları dolayısıyla bulonların çekme yükleri altında sünek davranış beklentisi olduğu görülmektedir. Deprem Yönetmeliği'nde kolon-kiriş birleşimindeki bulonlu bağlantılarında, çekme yükü altındaki bulonların doğrusal olmayan çevrimsel davranış modeli ile üç farklı performans düzeyin plastik dönme sınırları Şekil 2'de ASCE41-17'deki tanımla beraber verilmiştir. Şekildeki ASCE41-17'de tanımlanan plastik dönme sınırları: *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), ve *Collapse Prevention* (CP).

### 2.4. Deprem Yükleri Etkisinde Çelik Yapı Elemanları için Bulonlu Birleşimlerin Tasarımı

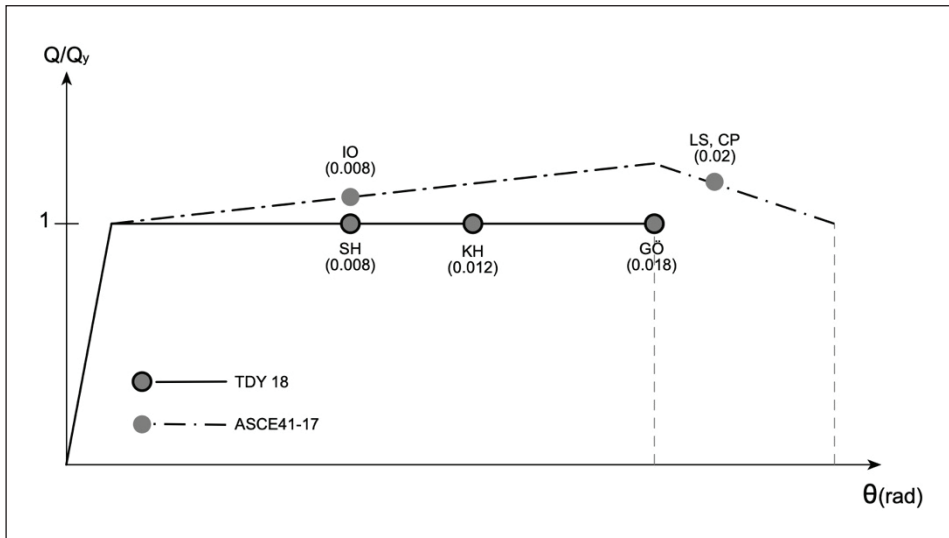
Geçerliliği kanıtlanmış iki farklı bulonlu birleşim Deprem Yönetmeliği'nde Ek 9B'da tanımlanmaktadır:

- Tam dayanımlı bulonlu alın levhalı birleşimler: Üç farklı tip alın levhalı birleşim detayı Şekil 3'te gösterilmektedir. İstenilen sünek davranış sağlamak için birleşim elemanları yeterli kapasiteyle akarak, sünek davranış sağlanır. Sünek olmayan gevrek bir göçmeyi engelleyecek şekilde detaylandırılmaktadır. Bu süreç kiriş, enkesitinin eğilme etkisinde akmaya ulaşması, alın levhasının eğilme etkisinde akmaya ulaşması, kolon panel bölgesinin akması, sonra ise çekme etkisindeki bulonların akması, kayma etkisindeki bulonların kırılması veya kaynaklı birleşim bölgelerinde kırılmalar olarak sıralanabilir.
- Bulonlu başlık levhalı birleşimler: Şekil 4'te tanımlanan koşullar, birleşim elemanlarının başlık levhasının



**Çizelge 1.** Deprem yönetmeliği'nde tanımlanan moment aktaran çelik çerçevelerde kolon-kiriş birleşim bölgesi plastik dönme sınırları.

Kolon-Kiriş Birleşim Tipi	Plastik Dönme Sınırları [rad]		
	SH	KH	GÖ
<b>Tam Dayanımlı Bulonlu Alın Levhali Birleşim</b>			
Alın levhasının akması durumu	0.01	0.025	0.04
Bulonların akması durumu	0.008	0.012	0.018
<b>Bulonlu Başlık Levhali Birleşim</b>			
Başlık levhası net kesitin veya bulonların kesmede akması	0.008	0.02	0.03
Başlık levhasının kaynağının veya plakanın kırılması	0.003	0.008	0.012
<b>Tam nüfuziyetli küt kaynaklı birleşim</b>			
	0.026 -0.00063d	0.0323 -0.00045d	0.043 -0.00060d
<b>Kaynaklı zayıflatılmış kiriş enkesitli birleşim</b>			
	0.025 -0.00015d	0.0525 -0.00023d	0.070 -0.00030d



**Şekil 2.** Deprem Yönetmeliği (TBDY 18) ve ASCE41-17'de birleşimlerde çekme yükü altındaki bulonların doğrusal olmayan çevrimsel davranış modelleri ile performans düzeyleri için plastik dönme sınırları

bitimine yakın bölgede bir plastik mafsalsın oluşmasını sağlayacak yeterli dayanım sağlayacak detaylandırma vermektedir.

## 2.5 Çelik Elemanların Birleşimlerinde Kullanılan Yüksek Dayanımlı Bulonlar

Deprem Yönetmeliği, yukarıda tanımlanan deprem yükleri etkisinde olan, süneklik düzeyi yüksek ve sınırlı moment aktaran çelik çerçevelerin birleşim ve eklerinde kullanım için geçerliliği kanıtlanmış tam dayanımlı bulonlu alın levhali birleşimle, bulonlu başlık levhali birleşimler için tam öncekme uygulanmış yüksek dayanımlı 8.8 veya 10.9 bulon sınıfı kullanımını gerektirmektedir. Bulon sınıfı tanımındaki ilk hane ile belirtilen sayının yüz katı, MPa olarak çelik malzemenin çekme dayanımını; ondalık hanesi ise çeliğin akma dayanımını elde etmek için çekme dayanımının

çarpanını belirtmektedir. Örneğin 8.8 kalitesindeki bir bulonun çelik malzemesinin asgari çekme dayanımı:  $8 \times 100 = 800$  MPa; akma dayanımı ise  $0,8 \times 800$  MPa = 640 MPa olur.

Öncekme yapılabilir yüksek dayanımlı bulonlar için Çelik Yönetmeliği, TS EN 14399 serisinde belirtilen bulonları tanımlamaktadır. Her yüksek dayanımlı malzeme ile üretilmiş bulon, öncekme uygulamaya müsait değildir. Bulonun üretiminde kullanılan çelik malzemesi dışında, öncekme yüklerine uygun bir geometri gerekmektedir. Bu nedenle öncekmeye uygun olarak geniş bulon başlığı, yük aktarımı sağlayacak oranda kalın somun ve uzun dış boyu gerekmektedir (Wallace, 2008).

Birleşimdeki bulonların kesme kuvveti etkisinde olduğu durumlarda ise bulonların dış açılmamış, gövde enkesitinin



markalaması ile tanımlanan, 10.9 malzeme sınıfıyla üretilen bulon takımı. Avrupa'da öncekme uygulanan iki farklı bulon tipi bulunmaktaydı. TS EN 14399 serisi bu iki tipe yer verecek şekilde geliştirilmiştir.

HR bulon takımı İngiliz/Fransız yaklaşımına uygun eski BS 4395 standardına dayanarak geliştirilmiştir. HR kısaltmasının açılımı İngilizce yüksek dayanım anlamına gelen "High Resistance" kelimelerin baş harflerinden gelmektedir. Bu bulon tipinde, çekme yükü altında gövde enkesitinin plastik uzamasıyla, akarak sünekliliği sağlamak için somun kalın ve gövdedeki dişli kısmın boyu uzun tutulmaktadır. Kalın somunlar, öncekme yükü uygulaması sırasında veya aşırı yüklemeye altında, diş sıyrılmasına karşı dayanıklı olmasını sağlıyor. Bulonun somun dışındaki gövde kısmında akıp kopmasını sağlamak için, asgari olarak somun kalınlığı  $\geq 0.9 \times D$  (bulon gövde çapı) olarak tanımlanmıştır. Bu anlamda ASTM F3125 bulon standardına benzemektedir. ASTM A325 bulonu HR 8.8, ASTM A490 ise HR 10.9 sınıfına denk düşünülebilir.

HV bulon takımı ise Alman yaklaşımına uygun DIN 6914 standardına dayanarak geliştirilmiştir. HV kısaltmasının açılımı Almanca yüksek dayanımlı öncekmeli bağlantı anlamına gelen "Hochfest Vorgespannte Verbindung" kelimelerin baş harflerinden gelmektedir. Bu bulon tipinde, daha ince somun ve gövdede dişli kısmın kısa olması nedeniyle, yük aktarımı için yeterli dişlinin olmamasından dolayı, çekme yükü altında somun altındaki dişlerin plastik şekil değiş-tirmesiyle sonuçlanıyor. Öncekme sırasında aşırı derecede yüklenmesi durumunda, HR tipi bulonların aksine, gövdenin akmasından ziyade dişlerin plastik şekil değiş-tirmesi nedeniyle kopma öncesi pek bir belirti vermemektedir. Somun kalınlığı yaklaşık olarak  $0.8 \times D$  (bulon gövde çapı) olarak tanımlanmış olmalarından dolayı bu tip bulonlar diş sıyrılması nedeniyle kopabilmektedir. HV tipi bulonlar, öncekme yükü uygulaması sırasında aşırı yüklenmeye karşı daha hassas olmasından dolayı sahada daha fazla kalite kontrol gerektirmektedir (SIGN 2019). HR ve HV bulon takımları arasında davranışı etkileyen iki ana geometrik farkı Şekil 3'te gösterilmektedir.

## 2.7 Yüksek Dayanımlı Yapısal Bulon Düzeneklerine Öncekme Uygulama Yöntemleri

Kullanılan öncekme uygulamasından bağımsız olarak, birleşen yüzeyler birbiriyle tam temas sağlayacak şekilde önce basit sıkma işlemi uygulandıktan sonra, öncekme kuvveti uygulanır. Tüm bulonların dengeli bir şekilde sıkılmış olmasını sağlamak için, bağlantının en rijit noktasından, rijit olmayan noktasına doğru bulonlar sırayla

sıkılması gerekmektedir (TS EN 1090-1). Gerekirse birden fazla turda sıkma işlemi gerçekleştirilebilir.

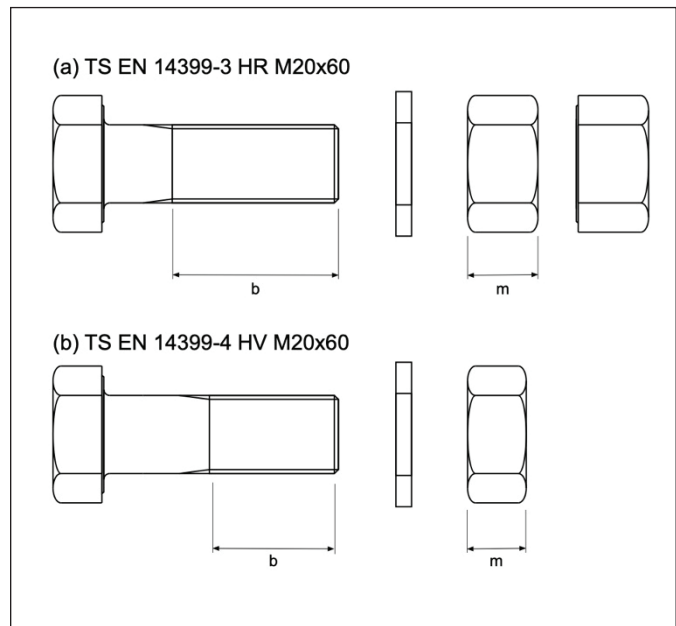
Bulonlara tam öncekme sağlamak için uygulanacak minimum çekme kuvveti bulon dayanımının %70'i olarak tanımlanmaktadır. Bulon sınıfı ve çapına göre, uygulanacak öncekme kuvveti bir çizelge ile Çelik Yönetmeliği'nde verilmiştir. Burada bulonlara öncekme kuvvetinin uygulanması için TS EN 1090-2 ile uyumlu olarak aşağıdaki farklı yöntemler tanımlanmıştır:

### Somun Döndürme Yöntemiyle Öncekme

Bulon dişlerine üretimde uygulanmış yağ kaplaması ile sağlanan kayganlıkla, somunun bulon çapına ve uzunluğuna bağlı olarak belirlenen bir oranda döndürülmesi ile gerekli öncekme kuvvetinin uygulandığı yöntemdir. TS EN 1090-2'de iki aşamalı bir uygulama olarak tanımlanmaktadır. İlk aşamada kalibre edilmiş (tork) göstergeli sıkma anahtarıyla öncekme yükünü sağlayacak torkun %75'üne kadar sıkıldıktan sonra, belirlenen oranda somunun döndürülmesiyle de gerekli tam öncekme kuvveti uygulanmaktadır.

### Göstergeli Sıkma Anahtarıyla Öncekme Uygulama Yöntemi

Bulon dişlerine üretimde uygulanmış yağ kaplaması ile sağlanan kayganlıkla, kalibre edilmiş (tork) göstergeli sıkma anahtarıyla öncekme yükünü sağlayacak torkun %75'üne kadar sıkıldıktan sonra, ikinci aşamada belirlenen öncekme



Şekil 5. TS EN 14399 standart serisinde (a) TS EN 14399-3 HR ve (b) TS EN 14399-4 HV ile tanımlanmış M20x60 bulon takımları arasındaki ana farklar: diş boyu (b) ve somun kalınlığı (m) gösterilmektedir.

yükünü sağlayacak torkun %110'una kadar sıkılmasıyla gerekli öncekme kuvvetin uygulandığı yöntemdir.

#### *Çekme Kuvvetini Doğrudan Belirten Göstergeli Pul ile Öncekme Uygulama Yöntemi*

HV veya HR sistemi bulonlara uygun üretilmiş, TS EN 14399-9'da tanımlanmış yük göstergeli pullar, fiziki olarak ezilip ve/ya boya püskürterek gerekli öncekme yüküne doğrudan ölçerek ulaşıldığını teyit edilmesini sağlar.

#### *Çekme Kontrollü Bulon ile Öncekme Uygulama Yöntemi*

TS EN 14399-10'da HRC (*High Resistance Calibrated*) sistemi olarak tanımlanan bulonun ucunda kalibre edilmiş geometrisiyle istenilen öncekme kuvvetine ulaşınca burularak kopan yivli bir parça bulunmaktadır. Bu uygulamada çift soketli dişli anahtar ile dış soket somunu kavrarken, iç soket ise bulonun dişlerin bittiği uçtaki yivli çıktıyı kavırıyor. İlk aşamada iç soket yivli ucu sabit tutarken, dış soket somunu saat yönünde döndürüp sıkıyor. İkinci aşamada somunu kavrayan dış soket sabit dururken, iç soket yivli ucu saatin ters yönünde yük uygulayarak, kalibre edilen yükte uç burularak kopup, bulonda gerekli öncekme kuvvete ulaşıldığını teyit edilmesini sağlar.

### **2.8. Bulon Dayanımın ve Davranışın Sağlanması için Tasarımcının ve Yüklenicinin Sorumlulukları**

Sahada bulon takımının tüm parçalarıyla uygun ve temiz koşullarda muhafaza edilmesi için sıkı bir denetim gerekmektedir. Özellikle HV Sistemi bulonların yanlış somun eşleşmesi, bulonların uygun olmayan şekilde sahada saklanmamasıyla dişlerin tozlanması gibi uygun olmayan koşullarla öncekme uygulaması sırasında dişlerin sıyırılması bir risk oluşturmaktadır. Halen yapımda en yaygın olarak kullanılan kalibre edilmiş göstergeli sıkma anahtarları ile öncekme uygulaması sırasında sıyırılması sonucunda uygulanan tork değeri kalibre edilen değere ulaşmış olmasına rağmen, somunun kitlenmesi nedeniyle, gerekli öncekme seviyesi sağlanmamış olur.

Bulon imalatında dişlerin uygun şekilde yağlanmasıyla, varsa galvaniz kaplamasıyla beraber, tanımlanan somun dönme kayganlığın sağlandığının ve bir düzenek olarak, somunun sıkılmasıyla EN 1090-2'de belirtilen koşullar ile aşırı sıkma ve hatalara karşı yeterli paylarla belirtilen sıkma yöntemleri kullanılarak gerekli öncekme yükünün güvenli bir şekilde sağlanabileceğini teyit etmek amacıyla TS EN 14399-2 "Önyüklemeye (öncekme) uygunluk deneyi" tanımlanmaktadır. Bu deney, yüksek dayanımlı bulonlarla ilgili Amerikan şartnamesi ASTM F3125'te tanımlanan "Rotational

*Capacity Test*" ile aynı amacı taşımaktadır (Wallace 2009). Üretici tarafından veya sonradan saha koşullarına uygun yapılan bu test ile belirlenen k-faktörü, bulona öncekme kuvveti uygularken somuna anahtar aracılığıyla uygulanan moment ile bulon çekme yükü arasındaki ilişkiyi ifade eder. Bulon tipi ve öncekme yöntemine göre k-faktörün nasıl belirleneceği ve ne sıklıkta yapılması gerektiği TS EN 1090-2 ve TS EN 14399-2'de, bulonun K-sınıfı aracılığıyla tanımlanmaktadır.

Tasarımda ise Çelik Yönetmeliği'nin "3.2 Hesap Raporu ve Uygulama Projelerine İlişkin Kurallar" bölümünde, tasarımcının hazırladığı proje hesap raporları ve uygulama proje çizimlerinde yapımda kullanılacak malzeme ve bulon sınıfları ile karakteristik dayanımlarıyla ilgili bilgileri, birleşim ve ek detayları ile bunlara ait hesaplar ayrıntılı olarak verilmesini gerektirmektedir. Uygulama veya imalat projelerinde yapı bileşenlerinin detaylarıyla birlikte, kullanılacak bulonların tipi sınıfı, çapı, pul ve somun özellikleri ile uygulanacak öncekme kuvvetlerin verilmesi gerekmektedir. İmalatçı ve yüklenici ise TS EN 1090-2 ye uygun olarak bulonların üretim sertifikalarını belgelemeleri ve saha uygulamalarındaki muayeneleri belgeledirmeleri gerekmektedir. Benzer şekilde Deprem Yönetmeliği'nin "9.13.2 Çelik Uygulama Projesi Çizimlerine İlişkin Kurallar" bölümünde bulonlu birleşim ve ek detaylarında kullanılan bulon cinsi, bulon ve delik çapları, rondela ve somun özellikleri ile bulonlara uygulanacak öncekme kuvveti ve sürtünme yüzeyi ile ilgili bilgiler verilmesini gerektirmektedir.

Kaynaklı birleşimlerle karşılaştırıldığında, yüksek dayanımlı bulonlu bağlantılarda öngörülen tasarım ilkelerine göre güvenilir mukavemet ve davranışı elde etmek göreceli olarak daha kolay ve ucuzdur. Fakat tasarım dokümanlarında bağlantılarda kullanılacak bulonların doğru tanımlanması, standartlara uygun bulonların bir takım olarak doğru parçaların bir arada kullanılıp, sahada doğru süreçlerle ve muayenelerle montajının özenle yapılması gerekmektedir.

### **2.9. Yük Altında TS EN 14399 Öncekmeli Yüksek Dayanımlı Bulonların Doğrusal Olmayan Davranışı**

Öncekmeli yüksek dayanımlı iki farklı TS EN 14399 bulonu, HV ve HR tiplerinin yük-yerdeğiştirme davranışları ile kopma biçimlerini karşılaştırmak için D'Aniello vd. (2016) farklı çekme yük koşulları altında iki tip bulonlarla deneyler yaptılar. M16x100, M20x110, ve M24x120 boyutlarındaki HR, HV ve çift somunlu HV bulon düzenelekleriyle: Monotonik çekme yüklemesi altında 2 deney, gerilme



genliği değişken çevrimsel yükleme altında 3 deney, ve sabit gerilme genliği değişken çevrimsel yükleme altında 2 deney, toplamda 63 deney gerçekleştirdi.

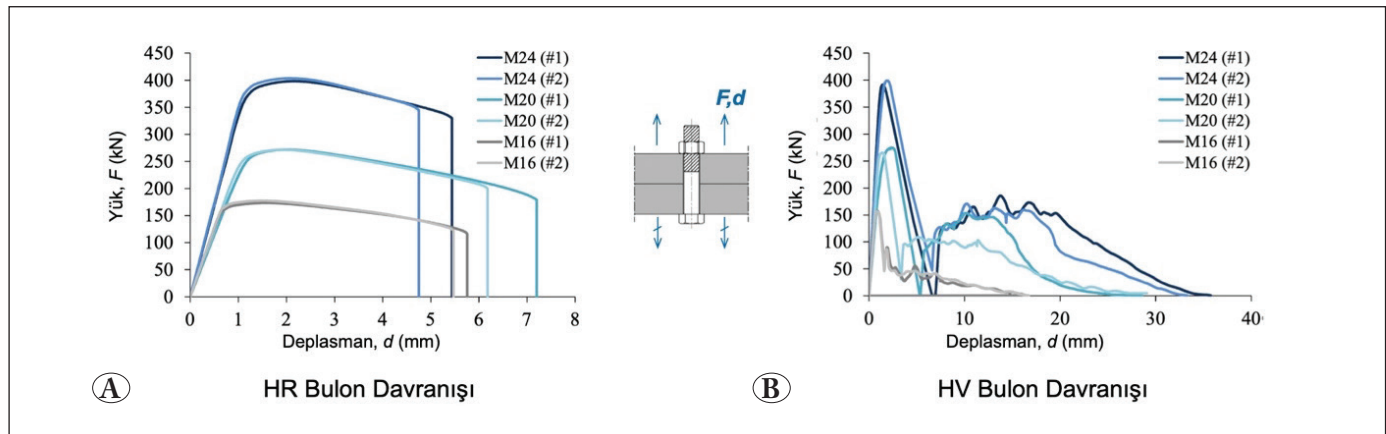
Şekil 6'da HR ve HV bulonların monotonik yük altındaki çekme davranışı gösterilmektedir. Şekil 6(a)'da ikişer M16, M20, ve M24 HR bulonu, deney düzeneğinde, öncekme yapıldıktan sonra doğrusal olmayan yük-yerdeğiştirme davranışlarının, ASCE41-17'de tanımlanan ve Şekil 1(b)'de gösterilen Tip 2 sünek eleman yük-yerdeğiştirme ilişkisiyle uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 6(b)'de ise ikişer tane M16, M20, ve M24 HV bulonu, deney düzeneğinde, öncekme yapıldıktan sonra doğrusal olmayan yük-yerdeğiştirme davranışlarının, ASCE41-17'de tanımlanan ve Şekil 1(c)'de gösterilen Tip 3 sünek olmayan eleman yük-yerdeğiştirme ilişkisiyle uyumlu olduğu görülmektedir.

### 3. Sonuç

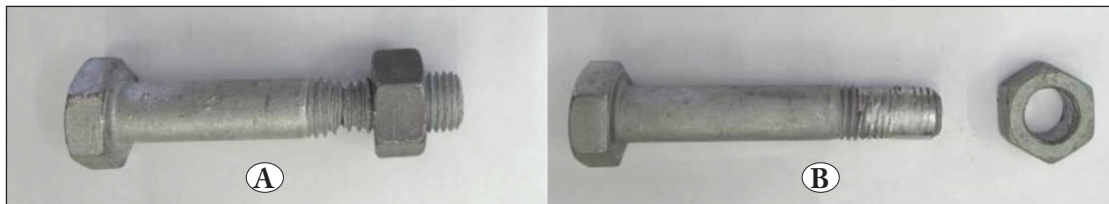
Bulonların temel iki kopma mekanizmaları Şekil 7'de gösterilmektedir. HR bulonların tümü yük altında gövdesindeki dişli kısmında boyun vererek (*necking*) akarak sünek bir şekilde koparken, HV bulonların tümü ise yük

altında diş sıyrılmasıyla sünek olmayan bir şekilde koptuğu gözlemlenmiştir.

Bulonların deneysel davranışını, detaylı sonlu eleman modelleriyle dişler arasındaki yük aktarımı ile kopma mekanizmaları farklı araştırmacılar (Grismo vd. 2106, Hu vd. 2016, D'Aniello vd. 2017) tarafından detaylı olarak incelemiştir. HR ve HV bulonlarının farklı davranışlarının bağlantı elemanlarının tümsel davranışına olan etkisini değerlendirmek için, D'Aniello vd. (2016) bileşen bazlı analitik hesap ile D'Aniello vd. (2017) de ise birleşim elemanların detaylı sonlu eleman analizleriyle bağlantı davranışlarını incelemektedir. Birleşimlerin elemanlarını çekme yoluyla bağlayan bulonların davranışları, doğrudan tümsel davranışı etkilediği görülmektedir. Bu çalışmalara göre bulonların kopma mekanizması, bağlantının kopma mekanizmasını doğrudan belirlemektedir. Bulonlar kapasiteye dayalı tasarlanırsa dahi HV tipi bulonların öncekme uygulanırken veya deprem yükleri altında aşırı yüklenmesi durumunda dişlerinin sıyrılma riski bulunduğundan beklenen sünek davranışın sağlanamamasının mümkün olmadığı görülmektedir.



Şekil 6. Monotonik çekme deneyleri sonucunda: A) HR bulonların sünek yük-yerdeğiştirme davranışı ile B) HV bulonların sünek olmayan yük-yerdeğiştirme davranışı gösterilmektedir (D'Aniello vd. 2017); deney düzeneğinin şematik kurgusu ortada şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 7. Çekme deneyi sonucunda bulonların farklı kopma mekanizmaları: A) M20 HR bulon gövdesindeki dişli kısmında boyun vererek (*necking*) akarak sünek bir davranışla kopması ile B) M20 HV bulon dişlerinin sıyrılmasıyla sünek olmayan bir davranışla kopması gösterilmektedir (D'Aniello vd. 2017)

#### 4. Tartışma

HV tipi bulonları ve benzer dış sıyrılma olasılığı yüksek olan bulonlara yönelik daha sünek davranış sağlamaya yönelik farklı çalışmalar yapılmıştır. D'Aniello vd. (2016) HV bulonlara, Grimsno vd. (2016, 2017) ise farklı tip bulonlarla çift somun kullanılarak dış sıyrılmasını önleyip sünek davranış elde edilebileceğini deneylerle göstermiştir. Grimsno vd. (2017) somun konumunun, bulon sünekliliğine olan etkisini deneylerle incelemiş, bulonun bağlantı sağladığı kısımdaki gövdede (grip) kalan dişli kısmın artırılması veya tümünden dişli bir gövde kullanarak bulonun daha sünek bir davranış sağlanabileceğini ortaya koymuştur. Hu vd. (2016) ise 8.8 sınıf bulonlarla, 10.9 sınıf somunun kullanılmasıyla dış sıyrılmasının önlenip, bulona sünek bir kopma mekanizma sağlanabileceğini deneylerle sergilemektedir. Bulonların davranışını sünekleştirecek bu farklı yöntemler, şartnamelerle uygun veya saha koşullarında uygulanması mümkün olmayabilir.

D'Aniello vd. (2017) sonlu elemanlarla HV ve HR bulon düzenek tiplerin bağlantı elemanlarıyla beraber olarak tümsel doğrusal olmayan davranışını analiz ettiklerinde, HV bulonlarıyla incelenen birleşimlerinin dayanım ve yerdeğiştirmelerini, Eurocode'da çelik yapıların bağlantıların tasarımıyla ilgili EN 1993-1-8 şartnamesiyle doğru modellenemediğini ve hesaplanan dayanımın güvenli tarafta kalmadığını tespit etmişlerdir. Şartnamenin HV davranışını hesaba katarak HR ve HV tipi bulonlarla oluşturulan bağlantıların farklı değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

TS EN 14399 öncekme uygulanabilen farklı tip bulonları tanımlarken, yük altında doğrusal olmayan yük-yerdeğiştirme davranışları bakımından ayırt etmemektedir. HR bulonların gövdedeki dişli kısmın uzunluğu ile somun kalınlığı, çekme yükleri altında gövdenin akmasıyla, sünek bir şekilde kopacak şekilde boyutlandırılmıştır. HV tipi bulonlarda ise gövdedeki dişli kısmın daha kısa ve somunun da daha ince olmasından dolayı kopma, dişlerin akması ve sıyrılmasıyla olmaktadır. Yapılan deneylerde bu iki bulon tipinin farklı doğrusal olmayan davranış eğrilerinden ASCE41-17'de tanımlanmış farklı sünek ve sünek olmayan yük-yerdeğiştirme tipleriyle kıyaslandığında, çekme yükleri altında HR bulonların sünek, HV bulonların ise sünek olmayan, gevrek yük-yerdeğiştirme tipinde olduğu görülmektedir.

Tasarımda deprem yükleri altında yapının yerdeğiştirmeyle, göçme olmadan çevrimsel dinamik yüklerin enerjisini sönlendiren sünek bir davranış elde etmek için

yapı elemanları boyutlandırılıp, detaylandırılmaktadır. Bulonların montajı sırasında öncekme uygulanırken veya dış yükler altında bulon dişlerinin akarak sıyrılmasıyla kopması ise birleşimin bütünlüğünü ve yapının dayanımı açısından kaçınılması gereken bir durumdur.

Yapılan bulonlu birleşim elemanların çekme deneylerinde bulonların kopma mekanizmasının, bağlantının davranışını etkilediği gösterilmiştir. Bu tespate dayanarak HV bulonların deprem yüklerini aktaran elemanların birleşim ve eklerinde amaçlanan tasarım ilkelerine uygun olmamasından ve montaj sırasında sıyrılma ihtimalinin kalite kontrol ile tespitinin zor olmasının yapı bütünlüğüne yaratacağı riskten dolayı kullanılmasına izin verilmemesi önerilmektedir.

#### 5. Kaynaklar

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı 2018.** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, *Resmi Gazete*, Sayı 30364, 18 Mart 2018.
- ASCE 41-17 2017.** Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia. Doi: 10.1061/9780784414859
- Akbas, B., Shen, J. 1995.** Seismic Design Study of P- Δ Effect on Steel Frames with Various Connections, *Proc 7th Nat. Conf. on Earthquake Eng.*, Canadian Association for Earthquake Engineering, Montreal, Canada.
- ASTM F3125/F3125M 2018.** Standard Specification for High Strength Structural Bolts and Assemblies, Steel And Alloy Steel, Heat Treated, Inch Dimensions 120 Ksi And 150 Ksi Minimum Tensile Strength, and Metric Dimensions 830 MPa And 1040 MPa Minimum Tensile Strength. ASTM International, West Conshohocken, PA. Doi: 10.1520/F3125\_F3125M-18
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2018.** Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik 2018, *Resmi Gazete*, Sayı 30333, 15 Şubat 2018.
- D'Aniello, M., Cassiano D., Landolfo, R. 2016.** Monotonic and Cyclic Inelastic Tensile Response of European Preloadable Gr10.9 Bolt Assemblies, *J. Const. Steel Res.*, 124: 77–90. Doi: 10.1016/j.jcsr.2016.05.017
- D'Aniello, M., Cassiano D., Landolfo, R. 2017.** Simplified Criteria for Finite Element Modelling of European Preloadable Bolts, *Steel Comp. Struct.*, 24(6): 643–658. Doi: 10.12989/scs.2017.24.6.643
- EN 1998-1-8 2005.** Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints. *Eurocode 3*, Brussels, Switzerland.
- Grimsno, EL., Aalberg, A., Langseth, M., Clausena, AH. 2016.** Failure modes of bolt and nut assemblies under tensile loading, *J. Const. Steel Res.*, 126: 15–25. Doi: 10.1016/j.jcsr.2016.06.023

- Grimsmo, EL., Aalberg, A., Langseth, M., Clausena, AH. 2017.** How Placement of Nut Determines Failure Mode of Bolt-And-Nut Assemblies, *Steel Const.*, 10(3): 241-247. Doi: 10.1002/stco.201710025
- Hu, Y., Shen, L., Nie, S., Ya, B., Sha, W. 2016.** FE Simulation and Experimental Tests of High-Strength Structural Bolts Under Tension, *J. Const. Steel Res.*, 126: 174-186. Doi: 10.1016/j.jcsr.2016.07.021
- Kasai, K., Mao, C., Mayangarum, A. 1998.** Feasibility of Bolted Rigid and Semi-Rigid Connections For Seismic Regions, *Summary Report of the Third U.S.-Japan Workshop on Steel Fracture Issues*, Building Research Institute (BRI) of Japan, 469-481.
- RCSC 2020.** Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts, Research Council on Structural Connections, June 11, 2020.
- TS EN 1090-1 2011.** Çelik Yapı Uygulamaları, Bölüm 1: Yapısal Bileşenlerin Uygunluk Değerlendirme Gereklere, *TSE*, Ankara.
- TS EN 1090-2 2011.** Çelik ve Alüminyum Yapı Uygulamaları, Bölüm 1: Çelik Yapılar İçin Teknik Gereklere, *TSE*, Ankara.
- TS EN 14399-1 2006.** Önyüklemeli Yüksek Mukavemet Yapısal Cıvatalama Düzenekleri, Bölüm 1: Genel Gereklilikler, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14399-2 2006.** Önyüklemeli Yüksek Mukavemet Yapısal Cıvatalama Düzenekleri, Bölüm 2: Önyükleme Uygunluk Deneyi, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14399-3 2006.** Önyüklemeli Yüksek Mukavemet Yapısal Cıvatalama Düzenekleri, Bölüm 3: HR Sistemi Altıköşe Başlı Cıvata ve Somun Düzenekleri, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14399-4 2006.** Önyüklemeli Yüksek Mukavemet Yapısal Cıvatalama Düzenekleri, Bölüm 4: HV Sistemi Altıköşe Başlı Cıvata ve Somun Düzenekleri, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14399-9 2006.** Önyüklemeli Yüksek Dayanımlı Yapısal Cıvatalama Takımları, Bölüm 9: HV veya HR Sistemi Yük Göstergeli Pullar, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 14399-10 2006.** Önyüklemeli Yüksek Dayanımlı Yapısal Cıvatalama Takımları, Bölüm 10: HRC Sistemi Öncekme Kuvveti için Tasarlanmış Bulon ve Somun Takımları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- SIGN, 2018.** European Standards for Preloadable bolts, *Steel Industry Guidance Notes*, SN26/2008.
- Wallace, W. 2004.** You Can't Tension All Bolts, *Link Magazine*, Winter, 6(1).
- Wallace, W. 2009.** RC Tests, Nut Factors, And the Europeans, *Link Magazine*, Winter, 26(1).



# A Theoretical Study on Radiation Shielding Characteristics of Magnetic Shielding Alloys, $Ni_{80}Fe_{15}Mo_5$ and $Ni_{77}Fe_{14}Cu_5Mo_4$ , by Determining the Photon Attenuation Parameters in the Energy Range of 15keV-100GeV

*Manyetik Kalkan Alaşımaları  $Ni_{80}Fe_{15}Mo_5$  ve  $Ni_{77}Fe_{14}Cu_5Mo_4$ 'ün 15keV-100GeV Enerji Aralığında Foton Zayıflatma Parametrelerini Belirleyerek Radyasyon Zırhlama Özellikleri Üzerine Teorik Bir Çalışma*

Zeynep Aygun<sup>1,\*</sup> , Murat Aygün<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Bitlis Eren University, Vocational School of Technical Sciences, Bitlis, Turkey

<sup>2</sup>Bitlis Eren University, Faculty of Arts and Science, Department of Physics, Bitlis, Turkey

## Abstract

In this study, we aimed to calculate photon-matter interaction parameters of  $Ni_{80}Fe_{15}Mo_5$  and  $Ni_{77}Fe_{14}Cu_5Mo_4$ , which are known as magnetic shielding alloys. The parameters were determined by using Phy-X/PSD software. The radiation attenuation parameters such as mass attenuation coefficient, linear attenuation coefficient, effective atomic number, half-value layer, tenth-value layer, total atomic cross section and total electronic cross section were calculated between the photon energies 15keV and 100GeV in order to determine the radiation shielding potentials of the alloys. The shielding potentials of the alloys were compared with those of widely used shielding materials reported before.

**Keywords:** Radiation attenuation parameters, Radiation shielding, Magnetic shielding alloys

## Öz

Bu çalışmada, manyetik kalkan alaşımaları olarak bilinen  $Ni_{80}Fe_{15}Mo_5$  ve  $Ni_{77}Fe_{14}Cu_5Mo_4$ 'ün foton-madde etkileşim parametrelerini hesaplamayı amaçladık. Parametreler Phy-X / PSD yazılımı kullanılarak belirlendi. Alaşımaların 15keV ve 100GeV foton enerjileri arasında radyasyon zırhlama potansiyellerinin belirlenmesi için kütle zayıflatma katsayısı, doğrusal zayıflatma katsayısı, efektif atom numarası, yarı kalınlık değeri, onda birine düşürme değeri, toplam atomik tesir kesiti ve toplam elektronik tesir kesiti gibi radyasyon zayıflatma parametreleri hesaplanmıştır. Alaşımaların zırhlama potansiyelleri, daha önce bildirilmiş yaygın olarak kullanılan zırhlama malzemelerinin potansiyelleriyle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Radyasyon zayıflatma katsayısı, Radyasyon zırhlama, Manyetik zırhlama alaşımaları


## 1. Introduction

Recently, there has been an enormous interest in researches including the determination of materials which have radiation shielding potentials due to the common applications of radiation in people's daily lives. By evaluation of the radiation attenuation parameters, we can have significant knowledge about the radiation shielding ability of the materials (Mann et al. 2013, Issa and Mostafa 2017, Kulali 2020, Alım 2020a). Some simulation codes and programs are widely used in order to determine the

radiation shielding parameters of different materials. Demir et al. (2013) investigated mass attenuation coefficients of water, concrete and bakelite at different energies by using the FLUKA Monte Carlo code. Photon attenuation parameters of some tissues by Geant4 simulation was studied by Arslan (2019). Radiation shielding properties of lanthanum oxide added waste soda-lime glass were studied via XCOM software by Akkurt et al. (2020). Tekin et al. (2020) reported the gamma-photon attenuation properties of newly developed molybdenum reinforced bismuth borate glasses by using MCNPX simulation code and XCOM program. Phy-X/PSD software recently developed by Sakar et al. (2020) is one of the codes which can be used for calculation of radiation shielding parameters of materials.

\*Corresponding author: zeynep.yarbasi@gmail.com; zaygun@beu.edu.tr

Zeynep Aygun  [orcid.org/0000-0002-2979-0283](https://orcid.org/0000-0002-2979-0283)

Murat Aygün  [orcid.org/0000-0002-4276-3511](https://orcid.org/0000-0002-4276-3511)



Many studies have been carried out for determination of the parameters of compounds, glasses and alloys etc. at several photon energies before (Han and Demir 2009a, Han and Demir 2010, Yılmaz et al. 2016, Alim 2020b, Akkurt and Tekin 2020). Among the alloys, the high-nickel based alloys have high initial and maximum permeabilities, low coercivity and very low hysteresis losses. Additions of 4 to 5% Mo, or of copper and chromium to nickel-based NiFe alloys, improves the permeability (Aygun 2018, Oleksakova et al. 2020). Ni<sub>80</sub>Fe<sub>15</sub>Mo<sub>5</sub> and Ni<sub>77</sub>Fe<sub>14</sub>Cu<sub>5</sub>Mo<sub>4</sub> soft magnetic alloys, known as magnetic shielding alloys (MSA), are used in resonance devices, superconducting circuits, electric transformer, storage disks, magnetic phonographs etc. Some of the photon attenuation parameters of Ni<sub>77</sub>Fe<sub>14</sub>Cu<sub>5</sub>Mo<sub>4</sub> alloy were investigated for some energies before (Alim et al. 2019). To the best of our knowledge, the radiation shielding capabilities of Ni<sub>80</sub>Fe<sub>15</sub>Mo<sub>5</sub> and Ni<sub>77</sub>Fe<sub>14</sub>Cu<sub>5</sub>Mo<sub>4</sub> alloys for the energies between 15keV and 100GeV have not been studied, yet. For this reason, in this study, we aimed to determine the mass attenuation coefficient (MAC), linear attenuation coefficient (LAC), effective atomic number ( $Z_{eff}$ ), half-value layer (HVL), tenth-value layer (TVL), total atomic cross section (ACS) and total electronic cross section (ECS) parameters and radiation shielding features of Ni<sub>80</sub>Fe<sub>15</sub>Mo<sub>5</sub> and Ni<sub>77</sub>Fe<sub>14</sub>Cu<sub>5</sub>Mo<sub>4</sub> in a wide energy range by using Phy-X/PSD software.

## 2. Materials and Methods

In the study, we obtained the Ni<sub>80</sub>Fe<sub>15</sub>Mo<sub>5</sub> and Ni<sub>77</sub>Fe<sub>14</sub>Cu<sub>5</sub>Mo<sub>4</sub> alloys in the form of foil from Goodfellow Corporation commercially. The density of used alloys is 8.8 g/cm<sup>3</sup>.

The MAC is a quantity that defines the interaction possibility between gamma photons and the mass per unit area for a particular medium and can be calculated by the Beer-Lambert formulated as:

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (1)$$

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \ln(I_0/I) / \rho t = \ln(I_0/I) / t_m \quad (2)$$

where  $I_0$  and  $I$  are incident and attenuated photon intensities,  $\rho$  (g/cm<sup>3</sup>) is the density of material,  $\mu_m$  (cm<sup>2</sup>/g) and  $\mu$  (cm<sup>-1</sup>) are mass and linear attenuation coefficients,  $t_m$  (g/cm<sup>2</sup>) and  $t$  (cm) are sample mass thickness (the mass per unit area) and the thickness, respectively.

If the sample has various elements, we can write the total mass attenuation coefficient for any compound as follows (Jackson and Hawkes 1981);

$$\mu/\rho = \sum_i w_i (\mu/\rho)_i \quad (3)$$

where  $w_i$  and  $(\mu/\rho)_i$  are the weight fraction and the mass attenuation coefficient of the  $i$ th constituent element, respectively.

The total atomic cross-section ( $\sigma_a$ ) for any sample can be calculated using the equation formulated as;

$$ACS = \sigma_a = \frac{N}{N_A} (\mu/\rho) \quad (4)$$

where  $N_A$  and  $N$  respectively are the Avogadro's number and the atomic mass of materials.

The total electronic cross-section ( $\sigma_e$ ) is formulated the following equation (Han and Demir 2009a);

$$ECS = \sigma_e = \frac{\sigma_a}{Z_{eff}} \quad (5)$$

By using the Equations (4) and (5), we can find the effective atomic number,  $Z_{eff}$ , of the material as follows;

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_a}{\sigma_e} \quad (6)$$

We can calculate the effective electron number,  $N_{eff}$ , as follows (Han and Demir 2009b),

$$N_{eff} = \frac{\mu_m}{\sigma_e} \quad (7)$$

HVL and TVL are the thicknesses parameters that are the used to reduce the radiation intensities by one half and one tenth, respectively. MFP is the average distance at which a photon travels through the material between two interactions. The  $\mu$  is used to obtain the parameters given by

$$HVL = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (8)$$

$$MFP = \frac{1}{\mu} \quad (9)$$

$$TVL = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (10)$$

Effective conductivity ( $C_{eff}$ ) of materials can be given by the following equation (Manjunatha 2017):

$$C_{eff} = \left( \frac{N_{eff} \rho e^2 \tau}{m_e} \right) 10^3 \quad (11)$$

where  $m_e$  (kg) and  $e$  (C) are mass and charge of electron, respectively.

## 3. Results and Discussion

Variations of the calculated MAC values of the soft magnetic alloys, Ni<sub>80</sub>Fe<sub>15</sub>Mo<sub>5</sub> and Ni<sub>77</sub>Fe<sub>14</sub>Cu<sub>5</sub>Mo<sub>4</sub>, versus photon

energies (15keV-100GeV) are shown in Figure 1A. In the low energy region (1-100keV) where the photoelectric process is predominant, MAC values decreased sharply with increasing energy. In the intermediate energy region (100keV-5MeV) where the Compton scattering is dominant, MAC values slightly changed. Above 5MeV, the Pair production process starts and an increase in MAC

values was observed with increasing energy (Kurudirek et al. 2009, Alim 2020a). We also calculated MAC values of the alloys by XCOM code reported by Berger and Hubbell (1987) to see the agreement of the values determined by Phy-X/PSD. It was observed that the obtained results are in good agreement as given in Table 1.

**Table 1.** MAC values of Ni<sub>80</sub>Fe<sub>15</sub>Mo<sub>5</sub> and Ni<sub>77</sub>Fe<sub>14</sub>Cu<sub>5</sub>Mo<sub>4</sub> alloys determined by XCOM and Phy-X/PSD.

Energy MeV	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>15</sub> Mo <sub>5</sub>		Ni <sub>77</sub> Fe <sub>14</sub> Cu <sub>5</sub> Mo <sub>4</sub>	
	Phy-X/PSD cm <sup>2</sup> /g	XCOM cm <sup>2</sup> /g	Phy-X/PSD cm <sup>2</sup> /g	XCOM cm <sup>2</sup> /g
1.50E-02	65.52	66.60	66.49	67.40
2.00E-02	35.07	33.60	34.46	33.30
3.00E-02	11.45	10.90	11.22	10.80
4.00E-02	5.130	4.870	5.021	4.810
5.00E-02	2.767	2.630	2.706	2.590
6.00E-02	1.689	1.600	1.652	1.580
8.00E-02	0.810	0.772	0.793	0.762
1.00E-01	0.486	0.466	0.477	0.461
1.50E-01	0.233	0.227	0.230	0.225
2.00E-01	0.163	0.161	0.162	0.160
3.00E-01	0.116	0.116	0.116	0.115
4.00E-01	0.098	0.097	0.097	0.097
5.00E-01	0.087	0.086	0.087	0.086
6.00E-01	0.079	0.079	0.079	0.078
8.00E-01	0.068	0.068	0.068	0.068
1.00E+00	0.061	0.061	0.061	0.061
1.50E+00	0.050	0.049	0.050	0.049
2.00E+00	0.044	0.043	0.043	0.043
3.00E+00	0.037	0.037	0.037	0.037
4.00E+00	0.034	0.034	0.034	0.034
5.00E+00	0.033	0.032	0.033	0.032
6.00E+00	0.032	0.032	0.032	0.031
7.00E+00	0.032	0.031	0.032	0.031
8.00E+00	0.032	0.031	0.032	0.031
9.00E+00	0.032	0.031	0.032	0.031
1.00E+01	0.032	0.031	0.032	0.031
1.10E+01	0.032	0.032	0.032	0.032
1.20E+01	0.032	0.032	0.032	0.032
1.30E+01	0.033	0.032	0.033	0.032
1.40E+01	0.033	0.032	0.033	0.032
1.50E+01	0.033	0.033	0.033	0.033
1.60E+01	0.034	0.033	0.034	0.033
1.80E+01	0.034	0.034	0.034	0.034

**Table 1.** Cont.

Energy MeV	$Ni_{80}Fe_{15}Mo_5$		$Ni_{77}Fe_{14}Cu_5Mo_4$	
	Phy-X/PSD $cm^2/g$	XCOM $cm^2/g$	Phy-X/PSD $cm^2/g$	XCOM $cm^2/g$
2.00E+01	0.035	0.034	0.035	0.034
2.20E+01	0.036	0.035	0.036	0.035
2.40E+01	0.036	0.036	0.036	0.035
2.60E+01	0.037	0.036	0.037	0.036
2.80E+01	0.037	0.037	0.037	0.037
3.00E+01	0.038	0.037	0.038	0.037
4.00E+01	0.040	0.039	0.040	0.039
5.00E+01	0.042	0.041	0.042	0.041
6.00E+01	0.044	0.043	0.043	0.043
8.00E+01	0.046	0.045	0.046	0.045
1.00E+02	0.048	0.047	0.048	0.047
1.50E+02	0.051	0.050	0.050	0.050
2.00E+02	0.053	0.052	0.052	0.051
3.00E+02	0.055	0.054	0.054	0.054
4.00E+02	0.056	0.055	0.056	0.055
5.00E+02	0.057	0.056	0.057	0.056
6.00E+02	0.057	0.056	0.057	0.056
8.00E+02	0.058	0.057	0.058	0.057
1.00E+03	0.059	0.058	0.058	0.058
1.50E+03	0.060	0.059	0.059	0.058
2.00E+03	0.060	0.059	0.060	0.059
3.00E+03	0.060	0.059	0.060	0.059
4.00E+03	0.061	0.060	0.060	0.059
5.00E+03	0.061	0.060	0.061	0.060
6.00E+03	0.061	0.060	0.061	0.060
8.00E+03	0.061	0.060	0.061	0.060
1.00E+04	0.061	0.060	0.061	0.060
1.50E+04	0.061	0.060	0.061	0.060
2.00E+04	0.061	0.060	0.061	0.060
3.00E+04	0.061	0.060	0.061	0.060
4.00E+04	0.061	0.060	0.061	0.060
5.00E+04	0.061	0.060	0.061	0.060
6.00E+04	0.062	0.060	0.061	0.060
8.00E+04	0.062	0.061	0.061	0.060
1.00E+05	0.062	0.061	0.061	0.060

LAC is one of the parameters for defining the photon-matter interaction, but it is not sufficient. The value of LAC depends on both MAC and density of compound. Additionally, it is evaluated to calculate MAC, HVL and MFP shielding parameters. Dependence of the calculated LAC values versus photon energies (15keV-100GeV) is

shown in Figure 1B. Due to the density effect, differences of LAC values are greater than those of MAC values. It was obtained that the MAC and LAC values of both alloys were very near to each other for the given energies. In low energies, MAC values of  $Ni_{80}Fe_{15}Mo_5$  alloy are slightly bigger than those of  $Ni_{77}Fe_{14}Cu_5Mo_4$ , it can be

said that  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{15}\text{Mo}_5$  has more absorption feature than  $\text{Ni}_{77}\text{Fe}_{14}\text{Cu}_5\text{Mo}_4$ . According to the obtained higher MAC and LAC values of the  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{15}\text{Mo}_5$  and  $\text{Ni}_{77}\text{Fe}_{14}\text{Cu}_5\text{Mo}_4$ , it can be said that the alloys have more shielding abilities than the widely used shielding materials (ordinary concrete, hematite-serpenite, basalt-magnetite, ilmenite-limonite, steel-scrap, ilmenite concrete and steel-magnetite) reported by Bashter (1997). It was also observed that the determined MAC values of the alloys are higher than those of the  $\text{Ag}_2\text{O}$  doped boro-tellurite glasses obtained by Alim (2020a).

The interaction possibility of per atom and per electron in a unit volume of any material is given by ACS and ECS, respectively. In Figure 2A, B; changing of ACS and ECS values as a function of incident photon energies are given. The alloy with higher ACS and ECS values can be evaluated as better shielding alloy (Alim 2020a). According to the results, due to the ACS and ECS values of the alloys are very close to each other, the shielding potential cannot be determined clearly by ACS and ECS parameters.

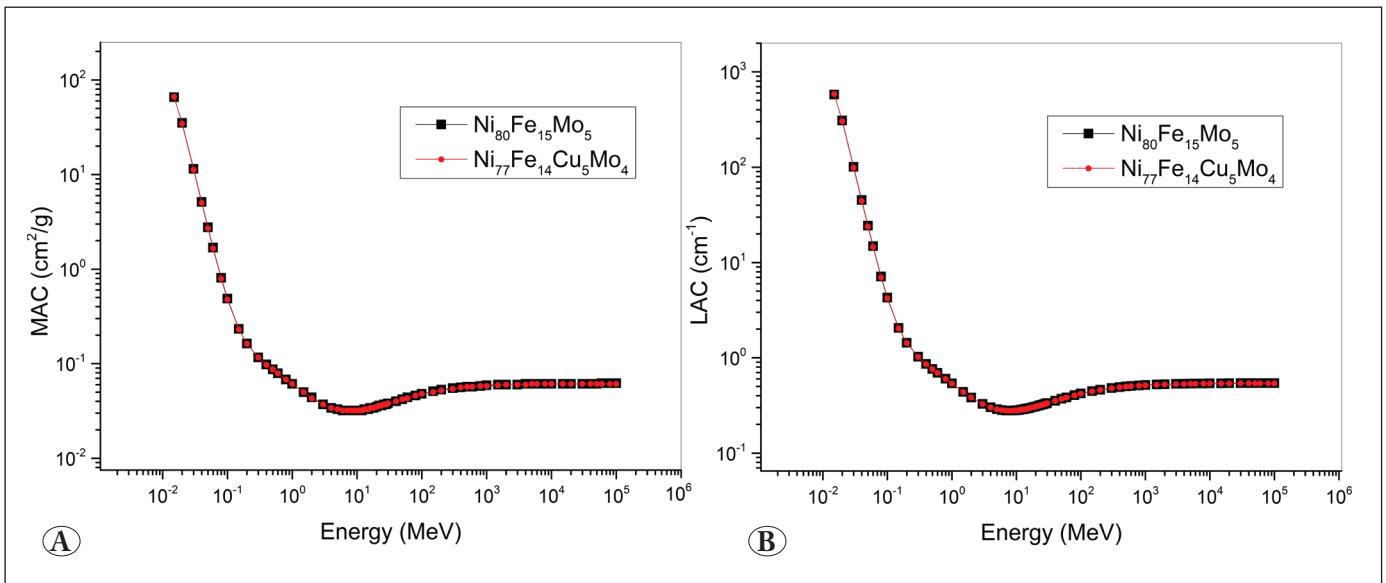


Figure 1. The changes of MAC (A) and LAC (B) as a function of incident photon energy.

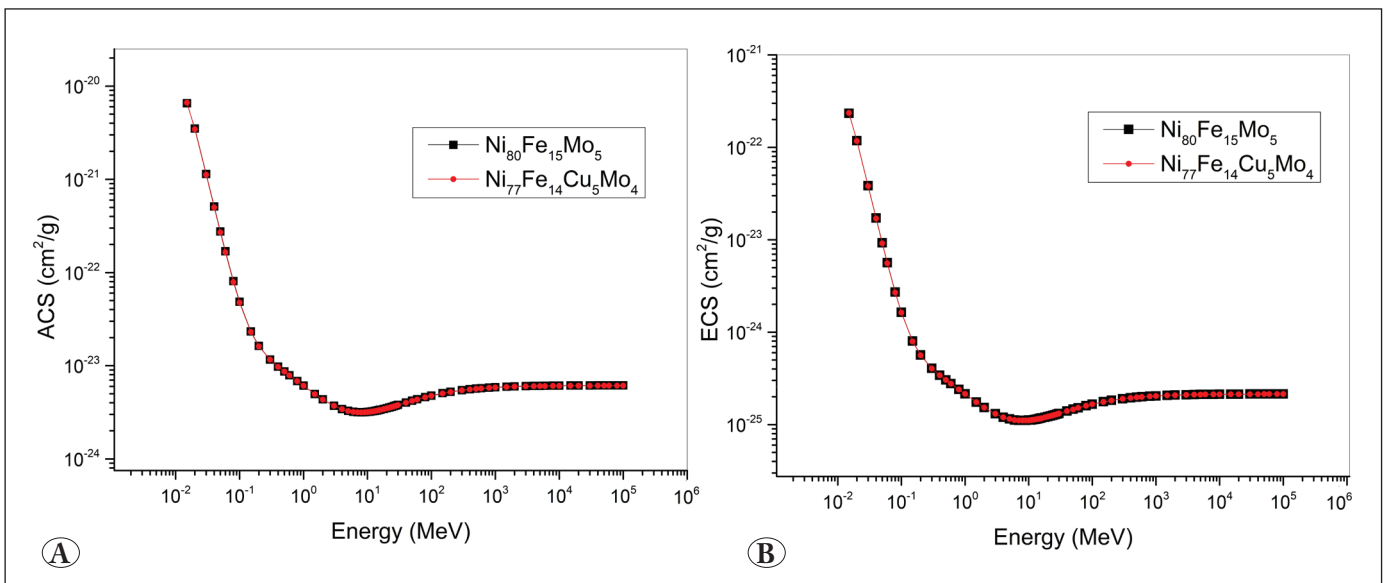


Figure 2. Dependence of ACS (A) and ECS (B) versus incident photon energy.



The HVL and TVL are the parameters for understanding of the penetration ability of the radiations in materials (Akkaş 2016). HVL and TVL parameters changing with the incident photon energies are given in Figure 3A, B. It is preferred to have low HVL and TVL values in the high energy regions for better shielding property. Although, HVL and TVL values of the alloys are very close to each other, lower HVL and TVL values were obtained for  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{15}\text{Mo}_5$  at high energies.

The energy dependence of MFP and  $Z_{eff}$  are given in Figure 4A, B. Like HVL and TVL, the same conclusion can be

evaluated for MFP values of the alloys. In the middle energy region where Compton scattering is dominant, most photons are more likely to be scattered. Therefore, their absorption probabilities are lower and hence thicker materials are required and photons have longer MFP. In the low energy region due to the photoelectric effect, maximum  $Z_{eff}$  values were obtained. By increasing energy, these values decreased sharply. Then the values gradually increased and remained constant in the high energy region. Due to the higher  $Z_{eff}$  values of  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{15}\text{Mo}_5$  than those of  $\text{Ni}_{77}\text{Fe}_{14}\text{Cu}_5\text{Mo}_4$ , it can be said that  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{15}\text{Mo}_5$

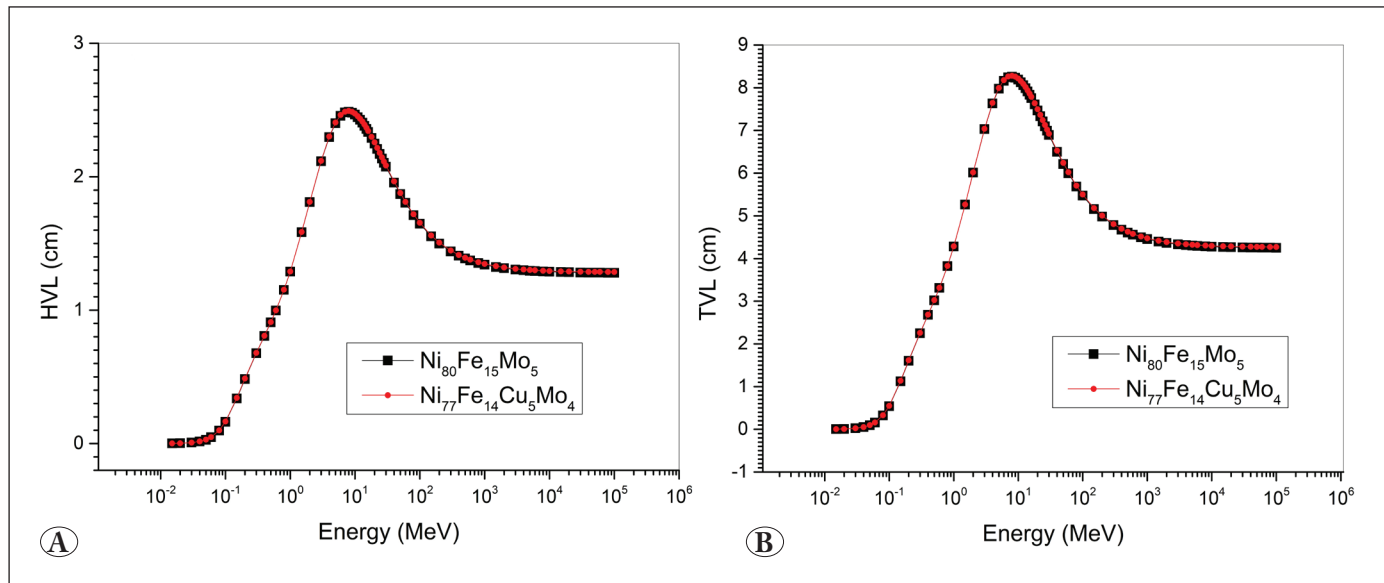


Figure 3. The variations of HVL (A) and TVL (B) as a function of incident photon energy.

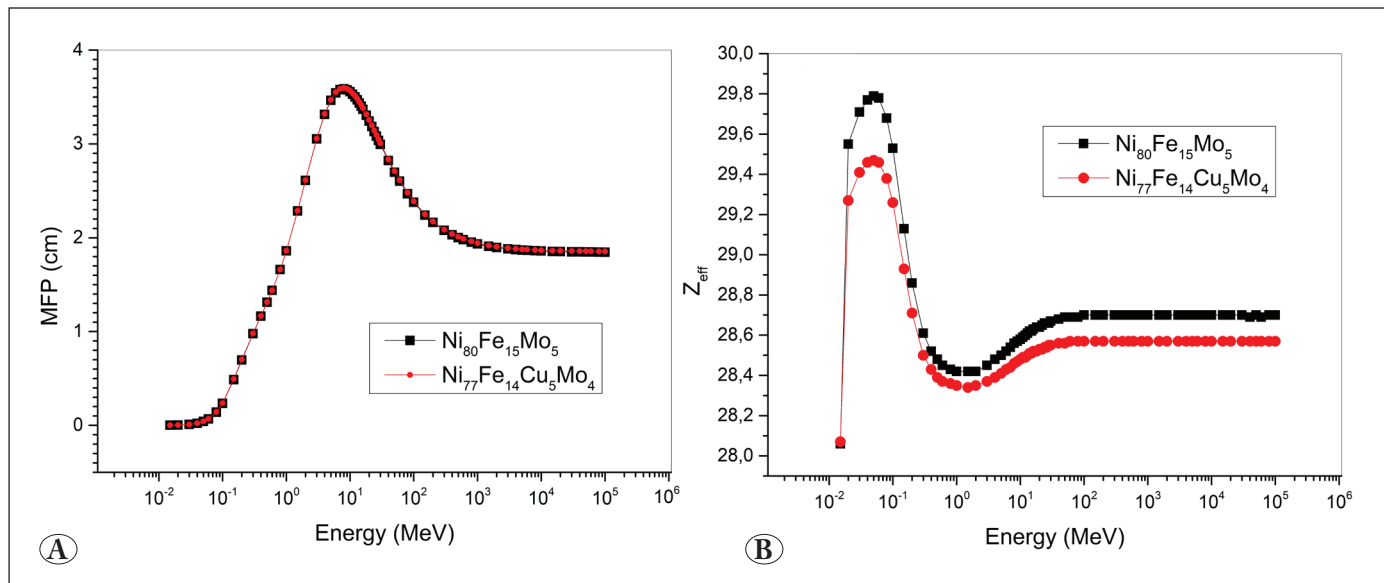


Figure 4. The changes of MFP (A) and  $Z_{eff}$  (B) as a function of incident photon energy.

shows higher shielding potential. The obtained  $Z_{eff}$  values of Ni<sub>80</sub>Fe<sub>15</sub>Mo<sub>5</sub> and Ni<sub>77</sub>Fe<sub>14</sub>Cu<sub>5</sub>Mo<sub>4</sub>, are also higher than the  $Z_{eff}$  values of RS 253 glass, ordinary concrete, hematite-serpenite and basalt-magnetite calculated by Alım (2020a) and hence, the alloys show more shielding property than the previously reported materials.

In conclusion, radiation-matter interaction parameters of soft magnetic alloys, Ni<sub>80</sub>Fe<sub>15</sub>Mo<sub>5</sub> and Ni<sub>77</sub>Fe<sub>14</sub>Cu<sub>5</sub>Mo<sub>4</sub>, were calculated by Phy-X / PSD code in the range of 15keV-100GeV to determine the radiation shielding capabilities in the present study. A good agreement was observed between MAC values of the alloys obtained by Phy-X/PSD and XCOM softwares. According to the obtained results, it was concluded that although, the parameters of the studied soft magnetic alloys have near values to each other, Ni<sub>80</sub>Fe<sub>15</sub>Mo<sub>5</sub> has higher shielding potential compared to Ni<sub>77</sub>Fe<sub>14</sub>Cu<sub>5</sub>Mo<sub>4</sub>. It can be also mentioned that both of the alloys show higher shielding capability than the commonly used shielding materials such as ordinary concrete, hematite-serpenite, basalt-magnetite, ilmenite-limonite, steel-scrap, ilmenite concrete and steel-magnetite.

#### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

#### 4. References

- Akkaş, A. 2016.** Determination of the Tenth and Half Value Layer Thickness of Concretes with Different Densities. *Acta Phys. Polonica A*, 129: 770-772. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.129.770>
- Akkurt, I. and Tekin, H.O. 2020.** Radiological parameters of bismuth oxide glasses using the Phy-X/PSD software. *Emerging Mater. Res.*, 9: 1020-1027. <https://doi.org/10.1680/jemmr.20.00209>
- Akkurt, I., Gunoglu, K., Kurtulus, R. and Kavas, T. 2020.** X-ray shielding parameters of lanthanum oxide added waste soda-lime glass. *X-Ray Spectrom.*, 1-12. <https://doi.org/10.1002/xrs.3210>
- Alım, B., Şakar, E., Özpolat, ÖF., Han, I. and Demir, L. 2019.** Determination of Gamma Photon Protection Capability of Ni<sub>77</sub>Fe<sub>14</sub>Cu<sub>5</sub>Mo<sub>4</sub>: A Magnetic Shielding Alloy. 4th Inter. Conf. Adv. Natural Appl. Sci. Phys., 266-276.
- Alım, B. 2020a.** Determination of Radiation Protection Features of the Ag<sub>2</sub>O Doped Boro-Tellurite Glasses Using Phy-X / PSD Software. *J. Inst. Sci. Tech.*, 10(1): 202-213. <https://doi.org/10.21597/jist.640027>
- Alım, B. 2020b.** A comprehensive study on radiation shielding characteristics of Tin-Silver, Manganin-R, Hastelloy-B, Hastelloy-X and Dilver-P alloys. *Appl. Phys. A*, 126:262. <https://doi.org/10.1007/s00339-020-3442-7>
- Arslan, H. 2019.** Photon attenuation parameters for some tissues from Geant4 simulation, theoretical calculations and experimental data: a comparative study. *Nucl. Sci. Tech.* 30: 1-10. <https://doi.org/10.1007/s41365-019-0617-z>
- Aygun, Z. 2018.** Application of Spectroscopic Methods for Analysis of Ni-Based Alloys (Ni% ≥70). *Cumburiyet Sci. J.*, 39: 144-151. <https://doi.org/10.17776/csj.405681>
- Bashter, II. 1997.** Calculation of radiation attenuation coefficients for shielding concretes. *Ann. Nucl. Energy*, 24(17): 1389-1401. [https://doi.org/10.1016/S0306-4549\(97\)00003-0](https://doi.org/10.1016/S0306-4549(97)00003-0)
- Berger, MJ., Hubbell, JH., 1987.** XCOM: Photon Cross Sections Database, Web Version 1.2. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA available at. <http://physics.nist.gov/xcom>.
- Demir, N., Tarım, UA., Popovici, MA., Demirci, ZN., Gurler, O. and Akkurt, I. 2013.** Investigation of mass attenuation coefficients of water, concrete and bakelite at different energies using the FLUKA Monte Carlo code. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 298:1303-1307. <https://doi.org/10.1007/s10967-013-2494-y>
- Han, I. and Demir, L. 2009a.** Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for Cr, Fe and Ni alloys at different energies. *Nucl. Instr. Methods B*, 267: 3-8. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2008.10.004>
- Han, I. and Demir, L. 2009b.** Studies on effective atomic numbers, electron densities from mass attenuation coefficients in TixCo1-x and CoxCu1-x alloys. *Nucl. Instr. Methods B*, 267: 3505-3510. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2009.08.022>
- Han, I. and Demir, L. 2010.** Studies on effective atomic numbers, electron densities and mass attenuation coefficients in Au alloys. *J. X-ray Sci. Tech.*, 18: 39-46. <https://doi.org/10.3233/XST-2010-0238>
- Jackson, DF. and Hawkes, DJ. 1981.** X-ray attenuation coefficients of elements and mixtures. *Phys. Reports*, 70: 169-233. [https://doi.org/10.1016/0370-1573\(81\)90014-4](https://doi.org/10.1016/0370-1573(81)90014-4)
- Issa, SAM. and Mostafa, AMA. 2017.** Effect of Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in borate-tellurite-silicate glass system for development of gamma-rays shielding materials. *J. Alloys Comp.*, 695: 302-310. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.10.207>
- Kulali, F. 2020.** Simulation studies on the radiological parameters of marble concrete. *Emerging Mater. Res.*, 9: 1341-1347. <https://doi.org/10.1680/jemmr.20.00307>

- Kurudirek, M., Türkmen, I. and Özdemir, Y. 2009.** A study of photon interaction in some building materials: High-volume admixture of blast furnace slag into Portland cement. *Radiat. Phys. Chem.*, 78: 751–759. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2009.03.070>
- Manjunatha, HC. 2017.** A study of gamma attenuation parameters in poly methyl methacrylate and Kapton. *Radiat. Phys. Chem.*, 137: 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.01.024>
- Mann, KS., Kaur, B., Sidhu, GS. and Kumar, A. 2013.** Investigations of some building materials for g-rays shielding effectiveness. *Radiat. Phys. Chem.*, 87: 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.02.012>
- Olekšáková, D., Kollár, P., Jakubcin, M., Slovenský, P., Bircáková, Z., Füzér, J., Fáberová, M. and Bureš, R. 2020.** Anhyseretic Magnetization for NiFeMo Soft Magnetic Compacted Powder. *Acta Phys. Polonica A*, 137: 899-891. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.137.889>
- Şakar, E., Özpolat, ÖF., Alim, B., Sayyed, MI. and Kurudirek, M. 2020.** Phy-X / PSD: Development of a user friendly online software for calculation of parameters relevant to radiation shielding and dosimetry. *Radiat. Phys. Chem.*, 166: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108496>
- Tekin, HO., Abouhaswa, AS., Kilicoglu, O., Issa, SAM., Akkurt, I. and Rammah, YS. 2020.** Fabrication, physical characteristic, and gamma-photon attenuation parameters of newly developed molybdenum reinforced bismuth borate glasses. *Phys. Scr.*, 95. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/abbf6e>
- Yılmaz, D., Boydaş, E. and Cömert, E. 2016.** Determination of mass attenuation coefficients and effective atomic numbers for compounds of the 3d transition elements. *Radiat. Phys. Chem.*, 125: 65–68. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.03.014>

**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 ulaşılabilir telefon numarası)**

Belge Geçer : **(Sorumlu yazara ulaşılabilir 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)**