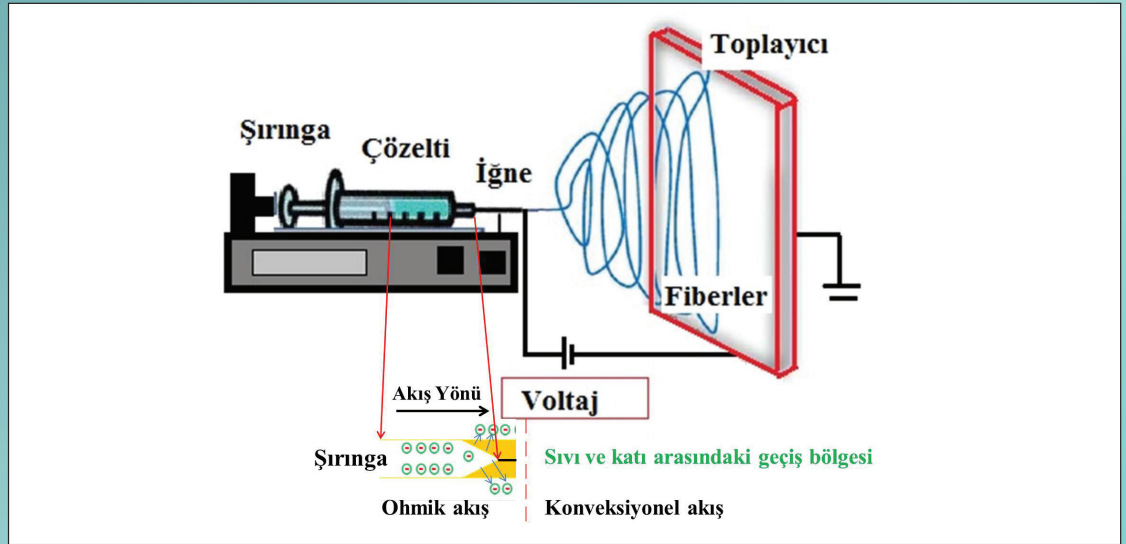




Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Tarafından Yayınlanmaktadır
Published by the Zonguldak Bülent Ecevit University

Karaelmas Science and Engineering Journal



- Co Katkılı Al-30Si-5Fe Alaşımlarının Mikroyapılarının ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi
- Elektro Eğirme Yöntemiyle Nano Boyutlu TiO₂ Parçacık katkılı PLA Nano Fiber Üretimi
- 177Lu Radyoizotopunun Hızlandırıcılarda Üretimi İçin Bir Benzetim
- f -Asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -Equivalence for Double Set Sequences
- Dolgu Duvarların Mod Katkı Çarpanlarına Etkisinin İncelenmesi
- Prediction of the Success of Wart Treatment Methods
- Bakır Oksit Nanopartiküllerinin *Galleria mellonella* Larvaları Üzerine İmmün ve Metabolik Etkileri
- İlköğretim Programlarının BM 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Açısından İncelenmesi
- 17-4 PH ve 15-5 PH Paslanmaz Çeliklerinin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Araştırılması
- Enzyme Immobilization Onto Carbon Fiber Electrodes by Electrochemical Polymerization
- Asymptotically Lacunary \mathcal{J}_σ -Equivalence of Sequences of Sets
- TiO₂ Katkılı Elmas-Benzeri Karbon Nanokompozit Filmin Elektrokimyasal Yöntemle Biriktirilmesi
- 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Uyarınca Bir İnceleme Alanının Zemin Etüdü Açısından İncelenmesi

Cilt / Volume: 10
Sayı / Number: 1
Haziran/June 2020

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

<http://fbd.beun.edu.tr>


Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi

 Dergi web sayfası: <http://fbd.beun.edu.tr>

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Yayın Organı

Official Journal of Zonguldak Bülent Ecevit University

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Adına Sahibi <i>Owner on behalf of Zonguldak Bülent Ecevit University</i>	Mustafa ÇUFALI Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Rektörü
Sorumlu Müdür/Publishing Manager	Yasin HAZER Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Botanik Anabilim Dalı
Yönetim Yeri/Head Office	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Dekanlığı, 67100, İncivez, Zonguldak
Redaksiyon ve Teknik Destek/ Redaction and Technical Support	Salih ERDEM Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
Yazışma Adresi/Correspondence Address	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Yeni Bina, İncivez, 67100, Zonguldak Tel : +90 372 291 11 00 Faks: +90 372 257 41 81
İnternet Adresi/Web Address	http://fbd.beun.edu.tr
Editör/Editor	Kemal BÜYÜKGÜZEL Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Rektör Yardımcısı
Yayınevi/Publishing House	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 www.bulustasarim.com.tr
Yayın Türü/Publication Type	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.



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



AMAÇ ve KAPSAM

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi (<http://fbd.beun.edu.tr>), Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nin resmi yayın organıdır.

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

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

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, Haziran ve Aralık aylarında olmak üzere yılda iki kez yayınlanmaktadır ve <http://fbd.beun.edu.tr> internet adresi üzerinden takip edilebilir.

Yayın İzni

Bireysel kullanım dışında, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi'nde yayımlanan makaleler, şekiller ve çizelgeler yazılı izni olmaksızın çoğaltılamaz, 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 <http://fbd.beun.edu.tr> 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.

AIMS and SCOPE

Karaelmas Science and Engineering Journal (<http://fbd.beun.edu.tr>), 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: <http://fbd.beun.edu.tr>

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 <http://fbd.beun.edu.tr>.

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.



YAZARLARA BİLGİLER

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

Dergide yayınlanacak makale türleri aşağıdaki gibidir.

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

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

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

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

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

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

YAYIN KURALLARI

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

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

MAKALE SUNUMU

Makaleler elektronik ortamda sunulacaktır.

YAZIM KURALLARI

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

- Yazım biçimi, Microsoft Word Programı (MS Word 2003, MS Word 2007) ile, Times New Roman yazı karakterli ve 12 punto düz metin olarak 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, kullanılan 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 Yazısı: Bütün yazılara (düzeltilmiş yazılar dahil) sunum yazısı eklenmelidir. Makalenin başlığı ve yazarları mutlaka belirtilmelidir. Makalenin daha önce hiç bir dergide yayınlanmamış ya da herhangi bir dergide yayınlanmak üzere sunulmamış olduğuna dair açıklama yapılmalıdır.

Başlık Sayfasının Planı:

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

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 (^{1 2 3} 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) Anahtar Kelimeler
b) İngilizce Başlık	g) İngilizce Abstract
c) Yazar Adları	h) İngilizce Anahtar Kelimeler (Keywords)
d) Adres(ler)	
e) Öz	



2. İngilizce makalelerde

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

Ana 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.

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, (Kuşcu vd. 2002, Yılmaz vd. 2007) şeklinde, aynı yazarın birden fazla makalesi kullanılacaksa (Simith vd. 1995a, b, 1997) şeklinde olmalıdır. Herhangi bir kaynaktan alıntı yapılmışsa: Aydan ve Geniş (2008)'e göre.....şeklinde olmuştur; Yılmaz vd. (2007)'e göre; diye yazılmalıdır.

2. İngilizce Makalelerde:

Tek yazarlı çalışma (Landen 2002).

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

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

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

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

Kaynakların metin sonunda verilmiş şekilleri aşağıdaki gibidir:

Makale:

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

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

Kitap:

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

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

Kitapta Bölüm:

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

Rapor:

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

Kongre, Sempozyum:

Kuşcu, Ş., Azar A., Kısa, A. 1997. Arşiv bilgi ve belgelerinden yararlanılarak grafik kadastronun sayılaşdırılması 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 alınan ve dergilerde yayınlanan makaleler hariç), kaynaklar bölümüne internet sitesinin ismi ve konu başlığı tam olarak yazılmalıdır.

Anonim web sayfası:

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

Yazarlı web sayfası:

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

Baskıda olan makale:

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

Tezler:

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

**Yazılım:**

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

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

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

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

Matematiksel denklemlerdeki eşitlikler:

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

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

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

Semboller ve Birimler: Metrik sistem veya SI birimleri (kPa, kN/m³, g/cm², m/sn, g/m³, v.b.) kullanılmalıdır. Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse şekillerde rakamların ondalık bölümlerinin belirtilmesi için nokta kullanılmalıdır (10.25 gibi). Yüzdeler birimler (%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/math-scinet/msc/msc2010.html> adresinden temin edilebilir.

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

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

Yazarlar için etik kurallar

Yazarlar ve yardımcı yazarlar;

- International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) tarafından belirtilen yazar kriterlerine uygunluk sağlanır;
 - a. Eserin tasarımına veya tasarımına önemli katkılar sağlayan verilerin elde edilmesi, analizi veya yorumlanması
 - b. Çalışmanın hazırlanması veya literatürün içerik için eleştirel olarak gözden geçirilmesi
 - c. Yayınlanacak versiyonun nihai onayı
 - d. Çalışmanın herhangi bir bölümünün doğruluğu veya bütünlüğü ile ilgili soruların uygun şekilde soruşturulup çözülmesini sağlamada, çalışmanın tüm yönlerinden sorumlu olacak anlaşma.

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

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

https://www.ease.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/doi.10.20316.ESE_2018.44.e1.tr_.pdf

Editörler İçin Etik

Editörler:

- Okuyucular, araştırmayı veya diğer bilimsel çalışmalarını kimin finanse ettiği ve fon verenlerin araştırmada ve yayınlanmasında herhangi bir rolü olup olmadığı ve eğer öyleyse bunun ne olduğu konusunda bilgilendirilmelidir.
- Editörlerin yayın için bir makaleyi kabul etme veya reddetme kararları, makalenin önemi, özgünlüğü ve netliği ile çalışmanın geçerliliği ve derginin görev alanına uygunluğuna dayanmalıdır.
- Editörler, gönderimle ilgili ciddi sorunlar tespit edilmedikçe, gönderimleri kabul etme kararlarını tersine çevirmemelidir.
- Yeni editörler, bir önceki editör tarafından yapılan başvuruları yayınlama kararlarını bozmamalıdır ciddi sorunlar tespit edilmedikçe.
- Hakem değerlendirmesi süreçlerinin bir açıklaması yayınlanmalı ve editörler açıklanan süreçlerden önemli sapmaları ortaya çıkarır.
- Yazarların editöryal kararlara itiraz edebilmeleri için beyan edilmiş bir mekanizmaya sahiptir.



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

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



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: <http://fbd.beun.edu.tr>

Manuscript Categories:

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

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

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

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

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

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

CONDITIONS FOR PUBLICATION

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

PRESENTATION

Papers should be submitted online.

PREPARING MANUSCRIPTS

- Manuscripts should be written double space on A4 sized typing paper with 2.5 cm all margins.
- Text should be prepared using Microsoft Word Processor (MS Word 2003, MS Word 2007) 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 first page of your manuscript should be a title page containing the type of paper; the title; all author's full name, and affiliations; and the corresponding author's contact address and e-mail address.

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. ^{1 2 3}). Corresponding author's full name should be marked with an asteriks (*). All authors addresses must be typed with lower case 10 font in the center. The corresponding author's contact address and e-mail address should be given. Names of institutions and cities each authors also must be stated.

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

The Abstract Paper:

1. Turkish Paper

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

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

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. Prostoglandin biosynthesis by midgut tissue isolated from the Tobacco Hornworm, *Manduca sexta*. *Insec Biochem. Mol. Biol.*, 32: 435-443.

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

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

A Book:

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

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

A Chapter in a Book:

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

A Report:

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

Conference Proceedings:

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

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

A Thesis:

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

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

In Press:

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

Software:

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

Internet and URL:

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

Web documents with no authors:

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

Web document with author:

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

Symbols and Units: Metric systems or SI units should be used (kPa, kN/m³, g/cm², m/sn, g/m³, 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Final Checklist of the Manuscript

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

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



INSTRUCTIONS to AUTHORS

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.

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

Ethical Guidelines for Authors

Authors and co-authors,

- meet the following criteria for authorship defined by International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE);
 - a. Substantial contributions to the conception or design of the work; or the acquisition, analysis, or interpretation of data for the work;
 - b. Drafting the work or revising it critically for important intellectual content;
 - c. Final approval of the version to be published;
 - d. Agreement to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity

of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

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

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

https://www.ease.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/doi.10.20316.ESE_.2018.44.e1.tr_.pdf

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 the 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>



İÇİNDEKİLER

Araştırma Makaleleri

- Co Katkılı Al-30Si-5Fe Alaşımlarının Mikroyapılarının ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**..... 1
M. Fatih Kılıçaslan, Seyit Çağlar, Cengiz Temiz, Orhan Uzun
- Elektro Eğirme Yöntemiyle Nano Boyutlu TiO₂ Parçacık katkılı PLA Nano Fiber Üretimi** 7
Nilüfer Evcimen Duygulu
- 177Lu Radyoizotopunun Hızlandırıcılarda Üretimi İçin Bir Benzetim** 19
Rıdvan Baldık
- Küme Dizilerinin f -Asimptotik $\mathcal{J}_2^{\sigma\delta}$ -Denkliği** 26
Erdoğan Dündar, Nimet Pancaroğlu Akın
- Dolgu Duvarların Mod Katkı Çarpanlarına Etkisinin İncelenmesi**..... 32
Taner Uçar
- Şişil Tedavi Yöntemlerinin Başarısının Tahmini** 44
Rukiye Uzun Arslan, Yalçın İşler, Mualla Toksan
- Bakır Oksit Nanopartiküllerinin *Galleria mellonella* Larvaları Üzerine İmmün ve Metabolik Etkileri** 53
Benay Sezer Tunçsoy
- İlköğretim Programlarının BM 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Açısından İncelenmesi** 61
Fatma Aktaş, Sinem Dinçol Özgür, Ayhan Yılmaz
- 17-4 PH ve 15-5 PH Paslanmaz Çeliklerinin Tornalanmasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve**..... 71
Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Araştırılması
Saltuk Alper Yaşar, Gültekin Uzun, İhsan Korkut
- Elektrokimyasal Polimerizasyonla Karbon Fiber Elektrotlara Enzim Tutuklaması** 82
Hana Alsoul, Ayşe Elif Büyükbayram
- Küme Dizilerinin Asimptotik Lacunary \mathcal{J}_σ -Denkliği** 88
Esra Güllü, Uğur Ulusu
- TiO₂ Katkılı Elmas-Benzeri Karbon Nanokompozit Filmin Elektrokimyasal Yöntemle Biriktirilmesi** 94
Necati Başman
- 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Uyarınca Bir İnceleme Alanının Zemin Etüdü Açısından İncelenmesi** 100
İsmail Emrah Kılıç, Zehra Nil Taylan Kutlu, Ozan Emir Özcan
- Saçılım Terimi İçeren Durağan Kinetik Denklem için Bir Ters Problemin Yaklaşık Çözümünün Araştırılması** 113
İsmet Gölgeleyen, Neslihan Albuz

Derleme

- XML Şemalarda Benzerlik Eşleştirme** 121
Ayşe Salman



CONTENTS

Research Articles

- Investigation of Microstructures and Mechanical Properties of Co-Doped Al-30Si-5Fe Alloys** 1
M. Fatih Kılıçaslan, Seyit Çağlar, Cengiz Temiz, Orhan Uzun
- Production of Nano Sized TiO₂ Blended PLA Nano Fiber with Electrospinning Method**..... 7
Nilüfer Evcimen Duygulu
- A Simulation for The Production of 177Lu Radioisotope in the Accelerators**..... 19
Rıdvan Baldık
- f -Asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -Equivalence for Double Set Sequences**..... 26
Erdoğan Dündar, Nimet Pancaroğlu Akın
- Investigating the Influence of Infill Walls on Modal Contribution Factors**..... 32
Taner Uçar
- Prediction of the Success of Wart Treatment Methods**..... 44
Rukiye Uzun Arslan, Yalçın İşler, Mualla Toksan
- Immune and Metabolic Effects of Copper Oxide Nanoparticles on *Galleria mellonella* L. Larvae** 53
Benay Sezer Tunçsoy
- An Examination of Primary Education Programs in Terms of UNDP 2030 Sustainable Development Goals** 61
Fatma Aktaş, Sinem Dinçol Özgür, Ayhan Yılmaz
- Investigation of the Effect of Cutting Parameters on Cutting Force and Surface Roughness in Turning of
17-4 PH and 15-5 PH Stainless Steels**..... 71
Saltuk Alper Yaşar, Gültekin Uzun, İhsan Korkut
- Enzyme Immobilization Onto Carbon Fiber Electrodes by Electrochemical Polymerization**..... 82
Hana Alsoul, Ayşe Elif Büyükbayram
- Asymptotically Lacunary \mathcal{J}_σ -Equivalence of Sequences of Sets** 88
Esra Gülle, Uğur Ulusu
- Electrochemical Deposition of TiO₂ Doped Diamond-Like Carbon Nanocomposite Film**..... 94
Necati Başman
- Ground Investigation Study on a Sample Field According to Turkish Earthquake Code 2018** 100
İsmail Emrah Kılıç, Zehra Nil Taylan Kutlu, Ozan Emir Özcan
- Investigation of the Approximate Solution of an Inverse Problem for a Stationary Kinetic Equation with a
Scattering Term** 113
İsmet Gölgeleyen, Neslihan Albuz

Review

- Similarity Matching of XML Schema**..... 121
Ayşe Salman



Co Katkılı Al-30Si-5Fe Alaşımlarının Mikroyapılarının ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Microstructures and Mechanical Properties of Co-Doped Al-30Si-5Fe Alloys

M. Fatih Kılıçaslan¹, Seyit Çağlar^{2*}, Cengiz Temiz³, Orhan Uzun⁴

¹Kastamonu Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği, Kastamonu, Türkiye

²Bülent Ecevit Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Zonguldak, Türkiye

³Bülent Ecevit Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Zonguldak, Türkiye

⁴Bartın Üniversitesi Rektörü, Bartın, Türkiye

Öz

Bu çalışmada geleneksel döküm Al-30Si-5Fe-XCo (X = 0, 1, 3 ve 5) alaşımlarının mikroyapısal ve mekanik özelliklerine kobalt katkısının etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, Al-30Si-5Fe-XCo (X = 0, 1, 3 ve 5 ağırlık %) kompozisyonundaki alaşımları, Al (%99.99 saflıkta), Si (%99.999 saflıkta), Fe (%99.999 saflıkta) ve Co (%99.999 saflıkta) elementleri kullanılarak hazırlanmıştır. Master alaşımlar induksiyon eritme ocağında üretilmişlerdir. Bütün üretim süreçleri Ar atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mikroyapıları X-ışını difraktometresi (XRD), optik mikroskopu (OM) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) yardımıyla incelenmiştir. Mikrosertlik ölçümleri Vickers uçlu bir mikrosertlik test cihazı ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; Al-Si-Fe alaşımlarına yapılan yeterli miktardaki Co katkısı Fe-içeren intermetaliklerin morfolojilerini uzun çubuk/iğne benzeri yapıdan kısa çubuk benzeri yapıya dönüştürmekte ve onların mikroyapı içerisinde homojen bir şekilde dağılımını sağlamaktadır. Geleneksel döküm Al-Si alaşımlarına yapılan Co katkısı arttıkça hem birincil Si fazlarının hem de Fe-içeren intermetaliklerin ortalama tane boyutlarının azalmasına neden olmaktadır. XRD analizlerine göre, master alaşımların mikroyapılarında birincil silisyum, α -Al ve δ -Al₄FeSi₂ intermetalik fazları belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Yapılan %1 kobalt katkısı sertlik değerinin azalmasına neden olurken %3 ve 5 kobalt katkısı sertlik değerlerinin artışına neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Al-Si alaşımları, Fe-içeren intermetalik bileşikler, Geleneksel döküm, Mikroyapı

Abstract

In this study, effects of cobalt addition on the microstructure and mechanical properties of conventional cast Al-30Si-5Fe-XCo (X = 0, 1, 3 and 5) alloys were investigated. In this context, elemental Al (99.9% purity), Si (99.999% purity), Fe (99.999% purity) and Co (99.999% purity) were used to prepare the alloys in composition of Al-30Si-5Fe-XCo (X = 0, 1, 3 and 5 wt.%). The master alloys were produced in an induction heating melter. All production processes were performed in Ar atmosphere. The microstructures of samples were investigated using X-ray diffractometry (XRD), optical microscope (OM) and scanning electron microscopy (SEM). A Vickers microhardness tester was used for microhardness measurements. The results showed that sufficient amount of Co addition alters morphology of Fe-bearing intermetallic compounds (IMCs) from long rod/needle-like to short rod-like, and leads to a more homogenous distribution of them in the microstructure. As the Co contribution to conventional cast Al-Si alloys increases, both the primary Si phases and the Fe-containing intermetallics decrease in average grain. According to X-ray analyzes, the intermetallic phases of primary silicon, α -Al and δ -Al₄FeSi₂ appear clearly in the microstructures of the master alloys. While 1% of cobalt additive decreased the hardness, 3% and 5% of cobalt additive increased the hardness.

Keywords: Al-Si alloys, Fe-bearing intermetallics, Traditional casting, Microstructure

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: caglar.s@yandex.com

M. Fatih Kılıçaslan orcid.org/0000-0001-8507-3900

Seyit Çağlar orcid.org/0000-0002-0701-3029

Cengiz Temiz orcid.org/0000-0002-9265-7485

Orhan Uzun orcid.org/0000-0001-7586-9075

1. Giriş

Ötektiküstü Al-Si alaşımları, Si parçacıkları fiziksel ve kimyasal olarak Al matrisinden ayrılabilir olduğundan metal matrisli kompozit olarak düşünülebilir. Al-Si alaşımları, sahip oldukları yüksek dayanım/ağırlık oranı, düşük termal genleşme katsayısı, yüksek aşınma ve korozyon direnci gibi üstün özelliklerden dolayı otomotiv endüstrisi, savunma ve havacılık sanayii gibi ileri teknoloji ürünlerinin sıkça ihtiyaç duyulduğu alanlarda yoğun olarak kullanılmaktadır (Srivastava vd. 2004, Wang vd. 2009).

Ötektiküstü Al-Si alaşımlarının mekanik özellikleri için birincil ve ötektik silisyum parçacıklarının boyutu ve dağılımı çok önemlidir. Çatlaklar daima birincil silisyumların gevrek kırılmasıyla veya silisyum parçacıklarının matristen ayrılması ile başlar daha sonra gerilim esnasında matris ve tane sınırları boyunca ilerler. Kaba birincil silisyum parçacıklarının inceltilmesi, birincil Si parçacıklarının erken kırılarak çatlak başlatma olasılığını azaltarak mekanik özellikleri geliştirir (Hong vd. 2005).

Al-Si alaşımları mekanik özellikleri, hafiflik olmaları ve işlenebilirliklerinden dolayı çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Si bir ametaldir ve sadece belli bir kristalografik yönde büyür. Al-Si alaşımlarında gevrek iğnemi yapılar oluşturur. Bu alaşımların mekanik özellikleri yapıdaki Si'un morfolojisinin iğnemsiden lifli yapıya dönüştürülmesi ile geliştirilir. Ötektik yapılarda Si sert ve gevrek, Al matris ise görece yumuşaktır. Modifikasyonun tanımında yer alan iğnemi yapıdan lifli yapıya geçiş iki yolla olabilir. Birincisi bu çalışmada da uygulanan, belli elementleri eriyik metale katarak yapılan kimyasal modifikasyondur. İkincisi, çok hızlı soğutma ile yapılan hızlı katılaştırma modifikasyonudur (Knuutinen vd. 2001).

Kang ve arkadaşları Al-50Si-10Mg, Al-50Si-10Cu ve Al-50Si-10Co alaşım sistemlerinde, sertlik ve aşınma direnci en yüksek olan alaşımların Co katkılı Al-50Si-10Co alaşımı olduğunu tespit etmişlerdir (Kang vd. 2007). Kobaltın alüminyum alaşımlarında, mekanik özellikler açısından çok zararlı olarak görülen demir içerikli β -AlFeSi fazını, daha az zararlı α -AlFeSi fazına dönüştürdüğü de literatürden teyit edilebilir (Mulazimoğlu vd. 1996). Literatürde, demir içerikli fazların olumsuz etkilerini nötrlemek üzere alüminyum alaşımlarına yapılan kobalt katkısının diğer nötrleyici elementlere göre daha fazla olması gerektiği öne sürülmektedir. Örneğin; bu tür alaşımlarda nötrleyici element olarak Cr düşünüldüğünde, Fe/Cr oranı yaklaşık olarak 3'e eşit iken, Co söz konusu olduğunda Fe/Co oranı

yaklaşık olarak 1'dir. Yani ne kadar demir katılırsa o kadar da kobaltın katılması önerilmektedir (Seifeddine 2007). Bununla birlikte literatürde Al-Si-Co alaşımları üzerine yapılmış çok az sayıda araştırmaya ulaşılabilmektedir (Kang vd. 2007).

Bu çalışmada, yüksek miktarda silisyum içeren, son derece ince mikroyapılı, üstün fiziksel ve mekaniksel özelliklere sahip Al-Si-Fe alaşımlarının geliştirilmesi hedeflenmiştir. İnce ve homojen bir mikroyapı elde etmek amacıyla Al-30Si-5Fe alaşımına ağırlık %1, 3 ve 5 oranlarda Co katkısının etkisi incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, Al-30Si-5Fe alaşımına ağırlık %1, 3 ve 5 oranlarda Co katkısı yapılmıştır. Söz konusu alaşımlar yukarıda bahsedilen kompozisyonlarda master alaşım olarak elde edilmiştir. Üretilen numunelerin mikroyapı analizleri optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) teknikleri ile mekanik karakterizasyonları ise Vickers mikrosertlik testleri ile gerçekleştirilmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

Bu makalede incelenen alaşımların üretilmesinde kullanılan elementler şunlardır; Al (%99,999), Si (%99,999), Fe (%99,999), Co (%99,999). Kullanılan elementlerin saflıkları her elemente ait simgeden sonra parantez içerisinde verilmektedir. Master alaşımlar bir indüksiyon fırını yardımı ile Al-30Si-5Fe-XCo (X= 0, 1, 3 ve 5) bileşimlerinde üretilmiştir. Master alaşımların üretilmesinde İndüksiyon fırını kullanılmıştır. Master alaşımlar Ar gazı altında üretilmiştir.

Çizelge 1'de üretilen master alaşımlar ve bunlar için kullanılan kodlamalar verilmektedir. Üretilen numunelerin kodlanmasında, master alaşımlar için İngilizcede geleneksel döküm manasına gelen Traditional Cast (TC) terimini oluşturan kelimelerin baş harfleri ile kodlanmıştır.

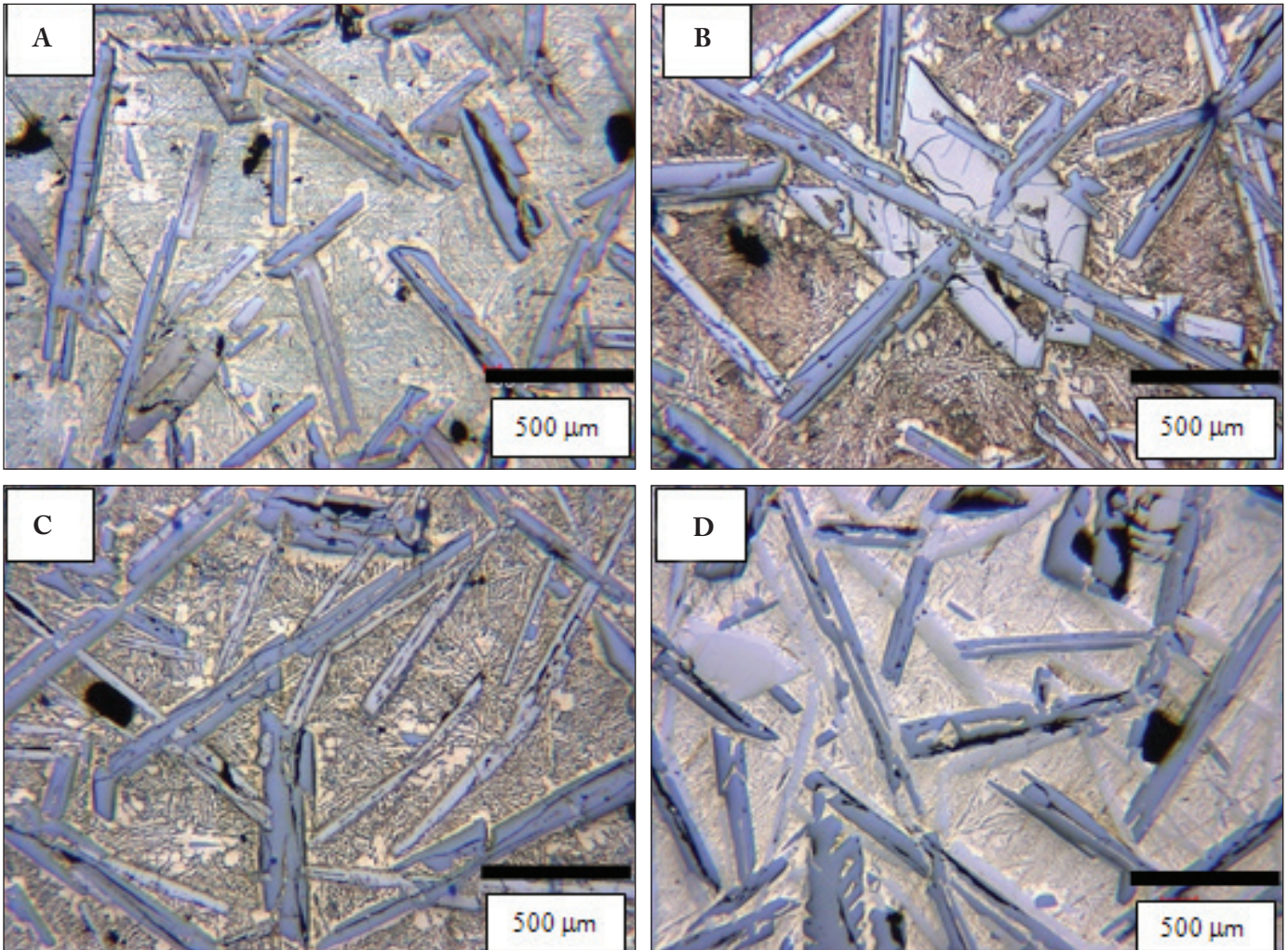
Çizelge 1. Çalışma kapsamında üretilen alaşımlar ve bunlara ait kodlamalar.

		Numune Kodu	Alaşım
Master Alaşımlar	Ağırlık %30 Si içeren numuneler	TC30	Al-30Si-5Fe
		TC30-1	Al-30Si-5Fe-1Co
		TC30-3	Al-30Si-5Fe-3Co
		TC30-5	Al-30Si-5Fe-5Co

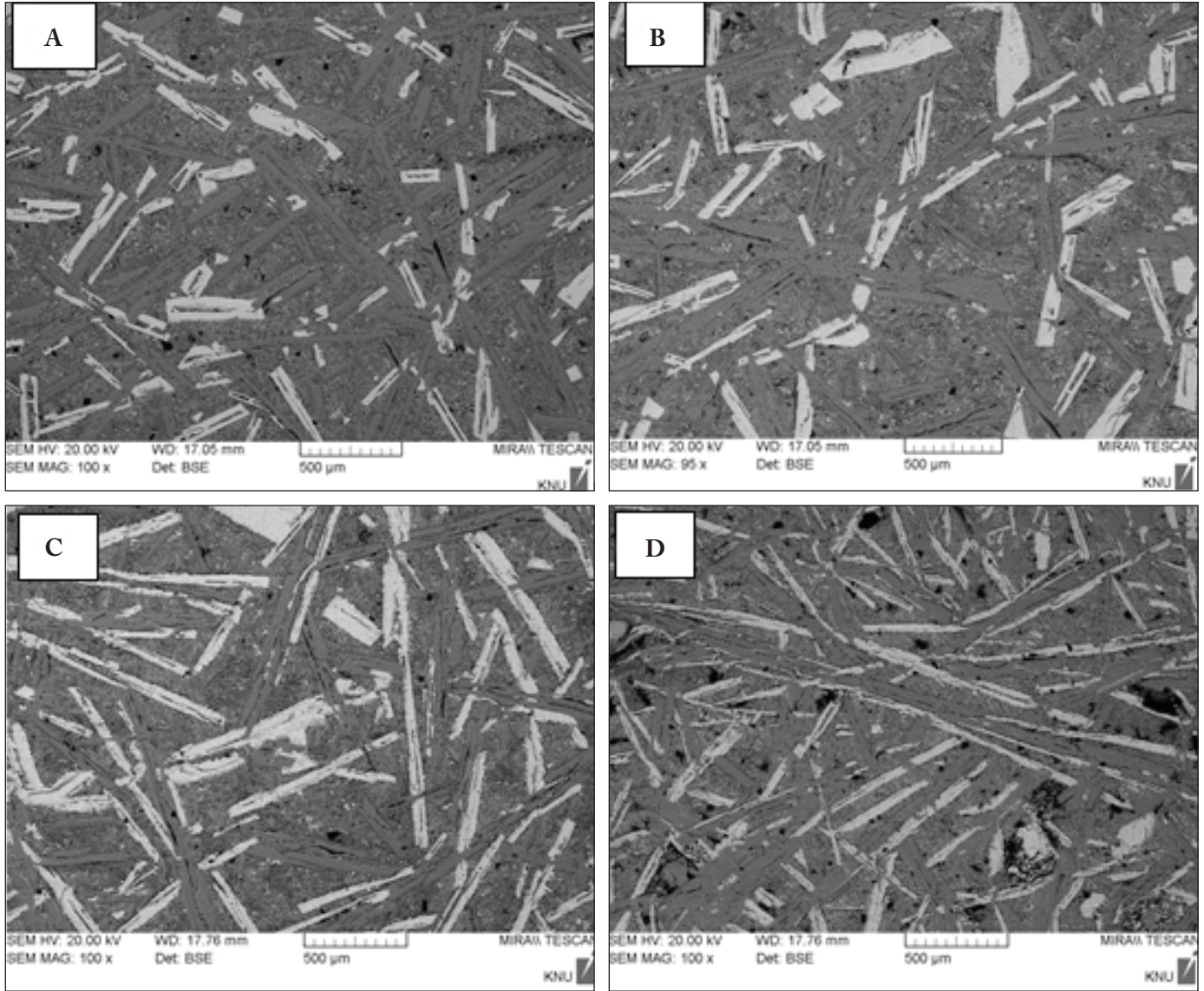
3. Sonuçlar

Şekil 1 ve 2'de ağırlıkça %30 silisyum içeren master alaşımların mikroyapılarını gösteren sırasıyla OM ve SEM fotoğrafları verilmektedir. Optik fotoğraflarda (Şekil 1A-D) silisyum fazları (koyu gri renkte çubuk şeklinde görülenler) ve ötektik yapı daha net görülebilirken, SEM fotoğraflarında (Şekil 2A-D) ise intermetalik fazlar (açık gri renkli çubuk benzeri fazlar) daha net incelenebilmektedir. Buna göre, Al-30Si-5Fe master alaşımının mikroyapıları birincil Si, demir ihtiva eden intermetalik bileşikler, α -Al ve ötektik fazlarından oluşmaktadır. Si fazlarının morfolojileri uzun çubuk-benzeri, büyük yıldız-benzeri, plaka/pul benzeri ve diğer geliş güzel şekilli yapıda iken, demir içerikli intermetalikler genellikle iğnemi yapıdadırlar.

Her iki tür mikroyapı görüntülerinden de görülebileceği üzere yavaş soğuma hızlarında Al-30Si-5Fe alaşımına yapılan kobalt katkısı, alaşımın mikroyapısının genel görünüşünü çok da fazla etkilememektedir. Yine de, kobaltın Al-30Si-Fe demir master alaşımlarının mikroyapı özellikleri üzerindeki etkileri silisyum fazları ve Fe-içeren intermetalik fazlar üzerinden bir değerlendirmeye tabi tutulabilir. Katkısız numune de birincil Si fazlarının boyutları ~0,5 ile 1,5 mm arasında değişirken, %1 kobalt katkısı yapıldığında 0,5 – 3,5 mm, kobalt katkısı %3 olduğunda 0,5 – 2 mm ve son olarak %5 kobalt katkısı yapıldığında ise 0,5 – 1,5 mm aralığında değişmektedir. Yani, %1 kobalt katkısı silisyum fazlarının boyutlarını arttırırken daha yüksek oranlarda yapılan kobalt katkıları kademeli olarak silisyum fazlarının boyutlarını azaltmaktadır (Şekil 1A-D). Kobaltın Fe-içeren intermetalikler üzerindeki etkilerine bakıldığında ise kobalt



Şekil 1. TC30, TC30-1, TC30-3 ve TC30-5 numunelerinin mikroyapılarının farklı miktarlarda eklenen Co ile genel değişimini gösteren optik fotoğraflar.



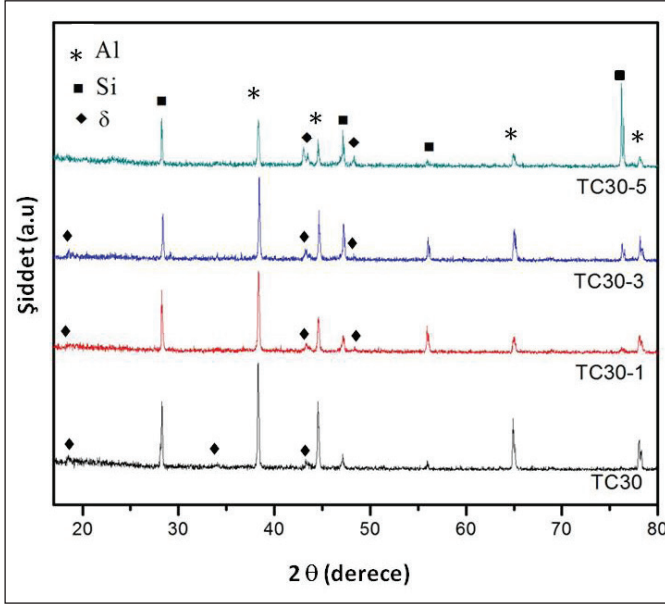
Şekil 2. TC30, TC30-1, TC30-3 ve TC30-5 numunelerinin mikroyapılarının farklı miktarlarda eklenen Co ile genel değişimini gösteren SEM fotoğrafları.

katkısının genelde intermetaliklerin boyutlarının artmasına sebep olduğu görülmektedir. TC30-5 numunesindeki (%5 kobalt katkı) intermetaliklerin boyutları TC30-1 (%1 kobalt katkı) ve TC30-3 (%3 kobalt katkı) numunelerindekilere nispeten daha küçük oldukları gözlenirse de, kobalt katkısız (TC30) numunedeakilere göre hala daha büyüktürler (Şekil 2A-D).

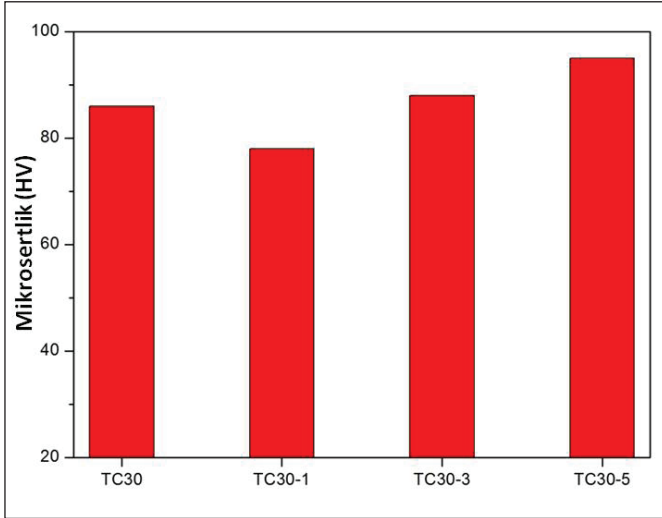
Şekil 3'de verilen XRD analizlerine göre, ağırlıkça %30 silisyum içeren numunesinde tespit edilen iğnensi/sivri uçlu intermetalikler, daha önceki çalışmalarımızda karakterize ettiğimiz, ağırlıkça daha az silisyum içeren numunelerdekine benzer bir şekilde genellikle $\delta\text{-Al}_4\text{FeSi}_2$ fazlarıdır.

Bu sebeple, kobalt katkılı numunelerdeki Fe-içeren intermetalik fazların $\delta\text{-Al}_4(\text{FeCo})\text{Si}_2$ fazı oldukları düşünülmektedir.

Şekil 4'te %30 silisyum içeren master alaşımların sertlik değerlerinin eklenen kobalt miktarına göre değişimi verilmektedir. Şekilden görülebileceği üzere, yapılan %1 kobalt katkısı sertlik değerinin azalmasına neden olurken %3 ve 5 kobalt katkıları sertlik değerlerinin artışına neden olmuştur. Yapılan kobalt katkıları sebebiyle sertlik değerlerinde meydana gelen bu değişim, numunelerdeki birincil Si fazlarının boyutlarında meydana gelen değişimle büyük bir korelasyona sahiptir. Yani, mikroyapı içerisinde birincil Si fazlarının boyutları artarken sertlik



Şekil 3. TC30, TC30-1, TC30-3 ve TC30-5 numunelerinden alınan X-ışınları desenleri.



Şekil 4. TC30, TC30-1, TC30-3 ve TC30-5 numunelerinin mikrosertlik değerlerinin farklı miktarlarda eklenen Co ile genel değişimi.

değeri azalmakta, azalırken ise artmaktadır. TC30-1 numunesindeki birincil Si fazlarının boyutları diğerlerine nazaran daha büyüktür (Şekil 2B), buna karşın sertlik değeri en düşük olan numune TC30-1 numunesidir (Şekil 3). TC30-3 ve TC30-5 ise kobalt miktarının artmasıyla birincil Si fazlarının boyutları azalmış (Şekil 2C, D) ve buna karşın sertlik değerleri artmıştır. Böylece, %30 silisyum içeren ingat numunelerin sertlik değerleri intermetalik fazlardan daha ziyade, birincil silisyum fazlarından etkilenmektedir.

Raghavan (2011) tarafından rapor edilen Al-Fe-Si üçlü faz diyagramına göre ağırlıkça %30' dan az olan (%20 ve 25) ve %30 silisyum içeren Al-Si-Fe alaşımlarının katılaşması esnasında faz oluşum sıraları aynıdır. Bu bakımdan, ağırlıkça daha az silisyum içeren ingat numunelerde fazların oluşum sırası ve kobaltın silisyum ve intermetalik fazlar üzerindeki etkileri %30 silisyum içeren Al-Si-Fe alaşımları ile genellikle benzerdir. Ancak, ağırlıkça %25 silisyum içeren numunelerde eklenen kobalt ile birlikte silisyum fazlarının boyutları azalırken, ağırlıkça %30 silisyum içeren numunelerde durum biraz farklıdır. Ağırlıkça %30 silisyum içeren numunelerde %1 e kadar olan kobalt katkılarında silisyum fazlarının boyutları artmakta, daha yukarı oranlardaki (%3 ve 5) kobalt katkıları için giderek azalmaktadır. Bu durum literatürde verilen "Alaşımdaki silisyum miktarı arttıkça eklenmesi gereken modifiye edici ajanın/tane incelticinin miktarının da artırılması gereklidir (Hedge vd. 2008)" bilgisi ile açıklanabilir. Yani, alaşımdaki silisyum miktarı az iken (ağırlıkça %20 ve 25) ağırlıkça %1 oranında kobalt eklenmesinden itibaren silisyum fazları incilirken, alaşımdaki silisyum miktarı fazla (ağırlıkça %30) iken ağırlıkça %3 oranında kobalt ilavesinden itibaren inceleme başlamaktadır. Daha önce belirtildiği gibi alaşım Fe-içeren intermetalik fazların modifiyesi için alaşımlarda bulunan demir içeriğiyle doğru orantılı olarak kobalt içeriğinin ayarlanması gerektiği önerilmektedir. Al-30Si-5Fe alaşımlarında ise ilk katılan faz birincil silisyum fazı olduğundan, alaşıma katılan kobaltın bir kısmının silisyumun içerisinde çözünmüş olması muhtemeldir. Böylece, Fe-içeren intermetalik fazları modifiye etmeye yetecek kadar kobalt kalmadığından Şekil 4'de gözlenen gibi etkin bir modifikasyon gerçekleşmemiştir. Yine daha önce belirtildiği gibi, Al-30Si-5Fe alaşımlarında da intermetalik fazların boyutlarında meydana gelen artışın kobaltın intermetalik fazlara difüzyonu, azalışın ise kobaltın onların iç enerjilerini düşürerek kararlılıklarını arttırması sonucu gerçekleştiği düşünülmektedir.

4. Tartışma ve Öneriler

Optik fotoğraflarda Al-30Si-5Fe master alaşımının mikroyapıları birincil Si, demir ihtiva eden intermetalik bileşikler, α -Al ve ötektik fazlarından oluştuğu gözlemlenmiştir.

Si fazlarının morfolojileri uzun çubuk-benzeri, büyük yıldız-benzeri, plaka/pul benzeri ve diğer gelişmiş şekilli yapıda iken, demir içerikli intermetalikler genellikle iğnemsî yapıda olduğu tespit edilmiştir.

Ağırlıkça %30Si ve %5Fe içeren geleneksel döküm Al-Si alaşımlarına (TC30) Yani, %1 kobalt katkısı silisyum

fazlarının boyutlarını arttırırken daha yüksek oranlarda yapılan kobalt katkıları kademeli olarak silisyum fazlarının boyutlarını azaltmaktadır.

XRD analizlerine göre ağırlıkça %30 oranında silisyum içeren master alaşımların mikroyapılarında birincil silisyum, α -Al ve δ -Al₄FeSi₂ intermetalik fazları belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Al-Si-Fe alaşımlarında eklenen kobalt, Fe-içeren intermetalik fazların boyutlarının yerine göre artmasına yerine göre ise azalmasına neden olmaktadır. Kobalt, Fe-içeren intermetaliklere nüfuz ederek onların boyutlarının artmasına neden olurken aynı zamanda da iç enerjilerinin düşmesine neden olur. Böylece, intermetalik içerisindeki kobalt miktarının belirli bir orana kadar artmasıyla intermetalik boyutları artmakta, daha sonra iç enerjinin yeteri kadar düşmesi ile birlikte daha kararlı hale gelen intermetalik boyutları azalmaktadır.

Ağ. %30Si içeren numunelerde en yüksek sertlik değeri ağ. %5 Co içeren TC30-5 numunesinde ölçülmüştür. Yapılan %1 kobalt katkısı sertlik değerinin azalmasına neden olurken %3 ve 5 kobalt katkıları sertlik değerlerinin artışına neden olmuştur. Sertlik değerinin nispeten yüksek olmasının nedeni olarak birincil silisyumların boyutunun azalması olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında geleneksel döküm yöntemiyle üretilen alaşıma eklenen kobalt miktarlarının, mikroyapılarını modifiye etmek için yeterli olmadıkları ortaya çıkmıştır. Ancak, Ağ. %30 numunelerin mikroyapısal modifikasyonları için bu çalışmada uygulananlardan daha fazla oranlarda kobalt ilavelerinin yapılması halinde yeterli modifikasyon elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

5. Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK (Proje No: 110M517) tarafından desteklenmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkürü borç biliriz.

6. Kaynaklar

- Hedge, S., Prabhu, K.N. 2008.** Modification of eutectic silicon in Al-Si alloys. *J. Mater. Sci.*, 43: 3009-3027.
- Hong, S.J., Suryanarayana, C. 2005.** Mechanical properties and fracture behavior of an ultrafine-grained Al-20 wt pct Si alloy. *Metall. Mater. Trans. A.*, 36A: 715-723.
- Kang, Z., Nakata, K., Li, Y. 2007.** Hard thick-film and wear resistance of Al-50Si-10M ternary alloys on A6063 aluminum alloy coated by low pressure plasma spraying. *Surf. Coat. Technol.*, 201: 4999-5002.
- Knuutinen, A., Nogita, K., McDonald, S. D., Dahle, A. K. 2001.** Modification of Al-Si alloys with Ba, Ca, Y and Yb. *J. Light Met.*, 1: 229-240.
- Mulazimoglu, M. H., Zaluska, A., Gruzleski, J. E., Paray, F. 1996.** Electron microscope study of Al-Fe-Si intermetallics in 6201 aluminum alloy. *Metall. Trans. A.*, 27: 929.
- Raghavan, V. 2011.** Al-Fe-Si (Aluminum-Iron-Silicon). *J. Phase Equilib.*, 32-2: 140-142.
- Seifeddine, S. 2007.** Vilmer Project-5.2 Casting, Jönköping University The School of Engineering Component Technology, Sweeden, December, pp. 5-6.
- Sha, M., Wu S., Zhong, G., An, P. 2011.** Varietion of Microstructure of RE-containing Al20Si2Cu1Ni0.6RE alloy with different cobalt contents. *J. Alloys Compd.*, 509: 252-257.
- Srivastava, V.C., Mandal, R.K., Ojha, S.N. 2004.** Evolution of microstructure in spray formed Al-18%Si alloy. *Mater. Sci. Eng. A.*, 383: 14-20.
- Wang, F., Zhang, J., Xiong B., Zhang, Y. 2009.** Effect of Fe and Mn additions on microstructure and mechanical properties of spray-deposited Al-20Si-3Cu-1Mg alloy. *Mater. Charact.*, 60: 384-388.
- Zhang, Q., Liu X., Dai, H. 2009.** Re-formation of AlP compound in Al-Si melt. *J. Alloys Compd.*, 480: 376-381.
- Zhu, J. M., Fu, H. M., Zhang, H. F., Wang, A. M., Li, H., Hu, Z. Q. 2010.** Synthesis and properties of multiprincipal component AlCoCrFeNiSi_x Alloys. *Mater. Sci. Eng. A.*, 527: 7210-7214.



Elektro Eğirme Yöntemiyle Nano Boyutlu TiO₂ Parçacık katkılı PLA Nano Fiber Üretimi

Production of Nano Sized TiO₂ Blended PLA Nano Fiber with Electrospinning Method

Nilüfer Evcimen Duygulu* 

Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Öz

Bu çalışmada biyo-bozunabilir polimerlerden polilaktik asit (PLA) içerisine oksitleyici, foto aktivite ve biyo-uyumluluk gibi gelişmiş özelliklere sahip nano boyutlu titanyum oksit (TiO₂) katılarak biyo-analiz ve biyomedikal gibi uygulama alanlarında kullanılacak nano fiber üretimi elektro eğirme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nano boyutlu TiO₂ parçacıkların PLA nano fiber içerisinde dağılımına elektro eğirme yöntem parametrelerinin etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen fiberlerin çapları ve morfolojik özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve yüksek çözünürlüklü geçirimli elektron mikroskobu (HRTEM) kullanılarak belirlenmiş, elementel analiz için enerji dağılım spektrometresi (EDS) kullanılmıştır. En iyi üretim koşulları; 0.63 mm iğne çapında, 10 kV güç değerinde ve 0.3 ml/sa akış hızı şeklinde belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektro eğirme, Poli laktik asit (PLA), Taramalı elektron mikroskobu (SEM), Titanyum dioksit (TiO₂), Yüksek çözünürlüklü geçirimli elektron mikroskobu (HRTEM)

Abstract

In this study, nano-fiber production, which can be used in bio-analysis and biomedical applications by adding nano-sized titanium oxide (TiO₂) with advanced properties such as oxidizing, photo activity and biocompatibility, from biodegradable polymers to poly lactic acid (PLA) was carried out by using electro spinning method. The effects of the electro spinning method parameters on the distribution of nano-sized TiO₂ particles in PLA nano fiber were investigated in detail. The diameters and morphological properties of the obtained fibers were determined using scanning electron microscopy (SEM) and high resolution transmission electron microscopy (HRTEM), and energy dispersive spectrometry (EDS) was used for elemental analysis. Best production conditions were determined as; 0.63 mm needle diameter, 10 kV power and 0.3 ml / h flow rate.

Keywords: Electrospinning, Poly lactic acid (PLA), Scanning electron microscopy (SEM), Titanium dioxide (TiO₂), High resolution transmission electron microscopy (HRTEM)

1. Giriş

Son on yılda, mikrometre ile nanometre çap aralığına sahip nano fiberlerin elde edilmesinde basit ve çok yönlü bir teknik olan elektro eğirme tekniğine olan ilgi hızlı bir şekilde artmaktadır (Hu vd. 2014, Lee vd. 2018, Scaffaro ve Lopresti 2018). Elektro eğirme işlemi, polimer çözeltisini besleme ünitesine konulup, metal iğne ucu ile toplayıcı yüzey arasında bir elektriksel alan oluşturulması temeline dayanmaktadır (Huang vd. 2003, Bhardwaj ve Kundu 2010). Uygulanan elektriksel yükü çözelti içerisindeki negatif yükler, yüzey

gerilimine karşı bir kuvvet oluşturarak çözeltinin elektrik alanı yönüne akmasına neden olmaktadır. Elektriksel alan arttıkça küresel şekildeki damlacıklar Taylor konisi olarak da adlandırılan konik forma dönüşmektedir. Belirli bir kritik değer üzerinde voltaj uygulandığında elektrostatik kuvvetler Taylor konisi üzerindeki yüzey gerilimini aşarak bir polimer jet oluşturmaktadır. Elektriksel yük kuvvetleri, sıvı jetinin toplayıcı yönünde hareket etmesini sağlamaktadır. Jetin toplayıcı yüzeyine iletimi esnasında uygulanan dış elektrostatik çekim alanı ile jet içerisindeki yüzey yüklerinin itici kuvvetleri arasında meydana gelen etkileşimler jet içindeki polimer zincirlerinin gerilmelerini ve kaymalarını sağlayarak nano fiber olarak adlandırılan çok küçük çaplara sahip fiberlerin oluşturulmasını sağlamaktadır (Taylor 1964, Taylor 1969, Lee vd. 2018, Pillay vd. 2012, Haider vd. 2018).

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: nevci@yildiz.edu.tr,
niluferduygulu@gmail.com

Elektro eğirme yöntemi kullanılarak elde edilen nano fiberlerin fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerini etkileyen faktörler; çözelti, ortam ve üretim parametreleri şeklinde gruplanmaktadır (Chong vd. 2007, Bhardwaj ve Kundu 2010, Herro vd. 2018). Çözelti parametreleri; viskozite, iletkenlik, moleküler ağırlık ve yüzey gerilimi başlıkları altında araştırılırken, ortam parametreleri; nem ve sıcak etkileri olarak ele alınmaktadır. Uygulanan elektriksel güç, akış hızı, iğne ucu-toplayıcı mesafesi, iğne çapı ve toplayıcı türü şeklindeki parametreler ise elektro eğirme yöntemi üretim parametreleri olarak incelenmektedir (Deitzel vd. 2001, Ramakrishna vd. 2005, Tan vd. 2005, Chong vd. 2007, Beachley ve Wen 2009, Bhardwaj ve Kundu 2010, Herrero vd. 2018). Elektro eğirme yöntemiyle uygulama alanına yönelik istenen özellik, morfoloji ve çaplara sahip nano fiber elde etmek için bu parametrelerin optimum koşullarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Elektro eğirme yöntemi kullanılarak üretilen nano fiberler; kimyasal ve biyolojik koruyucu malzemeler, gaz algılama malzemeleri, nem algılama, foto algılayıcı malzemeler, solar giysiler, yara örtüleri ve doku iskeleleri gibi birçok uygulama alanında kullanılmaktadır (Bhardwaj ve Kundu 2010, Song vd. 2017). Son zamanlarda biyo-bozunabilir polimerlerin biyo-uyumluluk, düşük maliyet, yüksek performans, hafiflik, gözenekli yapı gibi özelliklere sahip nano fiber olarak üretimi ve bu fiberlerin tıbbi protez, ilaç dağılımı, yara örtücü, doku şablonu, hücre iletimi gibi biyomedikal uygulamalara aktarımına yönelik çalışmalar yayınlamaktadır (Chen vd. 2007, Bhardwaj ve Kundu 2010, Song vd. 2017, Scaffaro ve Lopresti 2018).

Biy-bozunabilir polimerler arasında, yenilenebilir kaynaklardan sentezlenebilen biyolojik olarak parçalanabilen, çevre dostu ve ekonomik açıdan uygunluk gibi özelliklere sahip olan poli laktik asitin (PLA) uygulama alanları gelişmektedir (Song vd. 2006, Chen vd. 2007, Casasola vd. 2014, Rong vd. 2015, Costa vd. 2016, Gong vd. 2017, Jahangir vd. 2017, Herrero vd. 2018, Scaffaro ve Lopresti 2018). PLA'nın kullanım alanlarından bazıları; damar içerisinde ilaç salınımı, ortopedik veya cerrahi implant uygulamaları, biyo-uyumlu ve biyo-emilebilir tıbbi cihazların üretimi şeklindedir (Chen vd. 2007, Barkoula vd. 2008, Yang vd. 2011). Bu geniş uygulama alanlarına sahip PLA içerisine nano boyutlu parçacık katılması ve bu katkıların etkisini belirlemeye yönelik araştırmalara olan ilgi hızla artmaktadır (Gupta vd. 2013, Ojijo ve Ray 2013, Rasouli vd. 2015, Rong vd. 2015, Gong vd. 2017). Tıp ve canlı bilimlerinde çok çeşitli uygulamalarda kullanılan nano partiküllerden biri olan nano titanyum dioksit (TiO₂), oksitleyici (Pan

vd. 1996, Diebold 2003), foto aktivite (Ding vd. 2019) ve biyo-uyumluluk gibi cezbedici özelliklere sahip olup poli laktik asitte katılanarak; doku mühendisliği (Armentano vd. 2010, Gupta vd. 2013), ilaç taşınımı (Hu vd. 2014, Costa vd. 2016), yara örtü uygulamaları (Hong vd. 2009) gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Özellikle, bazı kanser türlerinin tedavilerinde kullanılan foto dinamik analizlerde katkı maddesi olarak, ışık altında yükleri etkin şekilde ayırma kabiliyeti sayesinde kimyasal reaksiyonların ilerlemesine katkı sağlamak gibi biyomedikal ve biyo-analiz uygulamalarında kullanılmaktadır (Song vd. 2008, Gasmı vd. 2018).

TiO₂ katkılı PLA sistemlerine yönelik yapılan çalışmalarda; döndürmeli kaplama (Man vd. 2012), döküm (Buzarovska ve Grozdanov 2012, Buzarovska 2013), çözelti üfleme (Costa vd. 2016), elektro eğirme (Song vd. 2006, Gupta vd. 2013, Hu vd. 2014, Jahangir vd. 2017, Herrero-Herrero vd. 2018) gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu yöntemler içinden, düşük maliyet, geniş yüzey alanı ve gözenekli yapı gibi özelliklerin kolaylıkla sağlandığı elektro eğirme yöntemi TiO₂ katkılı PLA fiber üretimi için yaygın olarak tercih edilmektedir (Song vd. 2006, Gupta vd. 2013, Hu vd. 2014, Jahangir vd. 2017, Herrero-Herrero vd. 2018).

Literatürde yer alan çalışmalarda (Song vd. 2006, Gupta vd. 2013, Hu vd. 2014, Jahangir vd. 2017, Herrero-Herrero vd. 2018), bir uygulama alanına yönelik TiO₂ katkılı PLA fiber üretimini gerçekleştirmek amaçlanmıştır. Ancak PLA nano fiber içerisinde TiO₂ parçacık dağılımı üretim parametrelerine bağlı olarak değişim göstermektedir.

Bu çalışmada ise temel olarak amaçlanan, elektro eğirme yöntemi üretim parametrelerinin; nano boyutlu TiO₂ parçacıkların PLA nano fiber içerisinde dağılımına etkilerinin morfolojik olarak incelenmesidir. Bu doğrultuda, üretim parametrelerinden; çözelti türü, iğne çapı, uygulanan güç, akış hızı iğne çapı değiştirilerek optimum fiber üretim koşulları belirlenmiştir. Elde edilen nano fiberlerin morfolojik ve yapısal özellikleri SEM, EDS ve HRTEM karakterizasyon teknikleri kullanılarak incelenmiş ve sonuçlar literatürle karşılatılmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Gereç

Çalışmada kullanılan polimer; granül poli laktik asit (PLA 4060D, Oo-kuma), titanyum dioksit (TiO₂, MA= 79.87g/mol, Merck) çözücüler ise; kloroform (CHCl₃, MA= 119.38 g/mol, Merck), N,N dimetil-formamid (DMF, MA= 73.09

g/mol, Merck) ve tetra hidro furan (THF, MA= 72.11 g/mol, Merck) dir. Yüzey aktifleştirici madde olarak sodyum tripolyfosfat (STTP, MA= 367.86 g/mol, Sigma-Aldrich) kullanılmıştır.

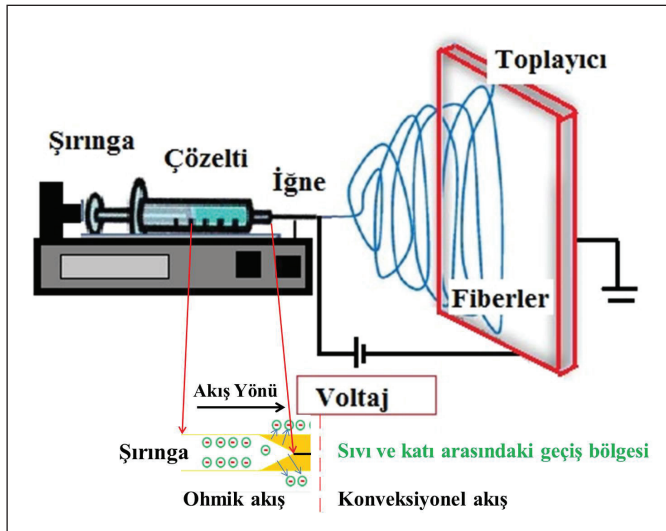
2.2. Çözeltilerin Hazırlanması

Elektro eğirme işlemi için ağırlıkça %8'lik PLA polimer çözeltisi hazırlamak için tekli ve üçlü çözücü sistemleri kullanılmıştır. PLA tekli sistemde çözücü; CHCl₃ ve üçlü sistemlerde ise çözücü olarak; CHCl₃, DMF ve THF (ağırlıkça çözücü oranları sırasıyla; 0.5:1:1) kullanılmış ve çözeltiler 90°C sıcaklıkta 4 saat süresince karıştırılarak hazırlanmıştır.

Nano TiO₂ parçacıklar çözelti içerisinde katılmadan önce, % 4 lük TiO₂ çözeltisi, DMF ve THF çözücüleri içerisinde (ağırlıkça çözücü oranları sırasıyla; 1:1) oda sıcaklığında yaklaşık olarak 1 saat süresince karıştırılarak hazırlanmıştır. Nano boyutlu TiO₂ parçacık içeren çözelti her iki PLA polimer çözelti sistemine parçacıkların çözelti içerisinde dağılımını iyileştirmek amacıyla yüzey aktifleştirici madde (STTP) ilave edilerek karıştırılmıştır.

2.2. Elektro Eğirme İşlemi

Elektro eğirme sistemi şematik görüntüsü Şekil 1'de yer almaktadır. Elektro eğirme işlemleri farklı iğne ucu çapı, güç ve akış hızlarında gerçekleştirilmiştir. Toplayıcı olarak alüminyum folyo kullanılmış, iğne ucu ile toplayıcı arasındaki mesafe 15 cm olarak sabit tutulmuştur. İğne ucu çaplarının nano boyutlu TiO₂ katkılı fiber üzerinde etkilerini belirlemeye yönelik çalışmalar ağırlıkça % 8'lik PLA çözeltisi tek çözücülü polimer çözeltiler kullanılarak



Şekil 1. Elektro eğirme sistemi şematik görüntüsü.

yapılmıştır. 0.83 mm ve 0.63 mm çaplı iğne uçları kullanılarak ve farklı voltaj değişimlerinde fiber üretimleri gerçekleştirilmiştir. Fiber çapını optimize etmek amacıyla ağırlıkça % 8'lik PLA üçlü çözücü sistemi kullanılarak 0.63 mm çaplı iğne ucu kullanılarak farklı voltaj (10 kV ve 15 kV) ve akış hızlarında (0.2 ml/sa ve 0.5 ml/sa) elektro eğirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra PLA üçlü çözücülü çözeltiye nano boyutlu TiO₂ parçacık ve yüzey aktifleştirici madde ilavesi yapılarak farklı voltaj ve akış hızlarında TiO₂ nano parçacıkların fiber içerisinde dağılımına olan etkinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

2.3. Karakterizasyon

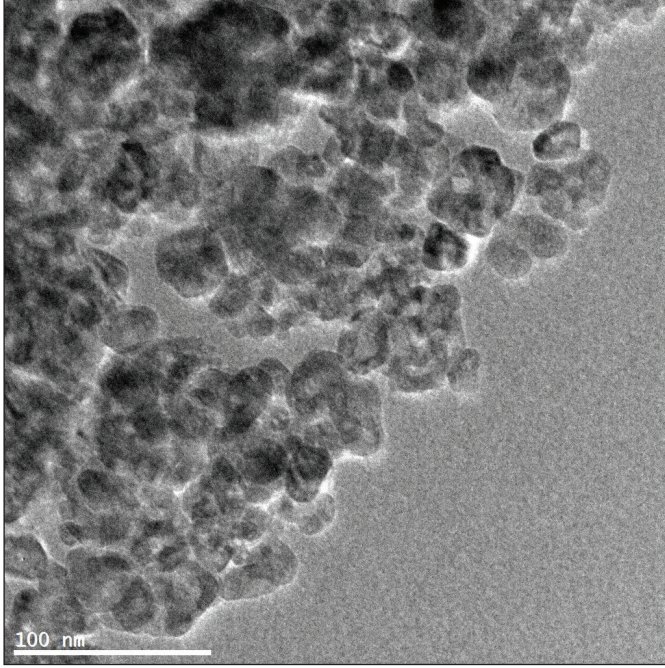
Üretilen fiberlerin morfolojik yapıları ve fiber çapları SEM (SEM, JSM 6335F – JEOL ve JSM 6510LV – JEOL) ve SEM'e bağlı EDS (Enerji dağılım spektrometresi) (X-MaxN 80-AZtec yazılımı- Oxford Instruments ve 7260-INCA yazılımı - Oxford Instruments) sistemi kullanılarak belirlenmiştir. Fiber çapı belirlemek amacıyla görüntü yazılımı (Image J) kullanılmıştır. Ortalama nano fiber çapını belirlemek için her bir örnek için 10'dan fazla SEM resmi üzerinde 200 ölçüm yapılmıştır. Daha detaylı morfolojik incelemeler yüksek çözünürlüklü geçirimli elektron mikroskobu (HRTEM) (HRTEM, JEM 2100-JEOL, 833 Orius SC200D CCD Kamera-Gatan ve 794 Slow Scan CCD Kamera-Gatan, Gatan Microscopy Suite (GMS) 2 yazılımı) yardımı ile yapılmıştır. Başlangıç TiO₂ nano tozları ve fiber içindeki nano parçacıklar HRTEM ile görüntülenmiştir.

3. Bulgular

Tekli ve üçlü çözücü sistemlerine eklenen nano boyutlu titanyum dioksit parçacıklar ortalama 20 nm boyutundadır. Şekil 2'de TiO₂ nano parçacıkların HRTEM görüntüsü yer almaktadır. İğne ucu çaplarının nano boyutlu TiO₂ katkılı nano fiber oluşumuna olan etkisini incelemek için tek çözücülü sistemi için 0.83 mm ve 0.63 mm iğne çaplarında elektro eğirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen fiberlerin SEM görüntüleri Şekil 3A-D' de gösterilmiştir.

Farklı iğne ucu çaplarında 10 kV voltaj uygulandığında elde edilen fiberlerin çaplarında değişim meydana gelmemiş ve fiber çapları yaklaşık 100 nm olarak ölçülmüştür. Ancak uygulanan voltaj 15 kV'ye artırıldığında elde edilen fiberlerin çapları azalarak, iğne ucu çapı 0.63 mm için elde edilen fiber çapı yaklaşık 90 nm ve 0.83 mm iğne ucu çapı için yaklaşık 80 nm olarak hesaplanmıştır. İğne ucu çap değişim sonuçları morfolojik olarak kıyaslandığında 0.63

mm iğne ucu çapının daha iyi fiber dağılımı elde etmek için uygun olduğu gözlenmiştir. Çalışmaların devamında iğne ucu çapı 0.63 mm olarak belirlenmiştir. Uygulanan voltaj

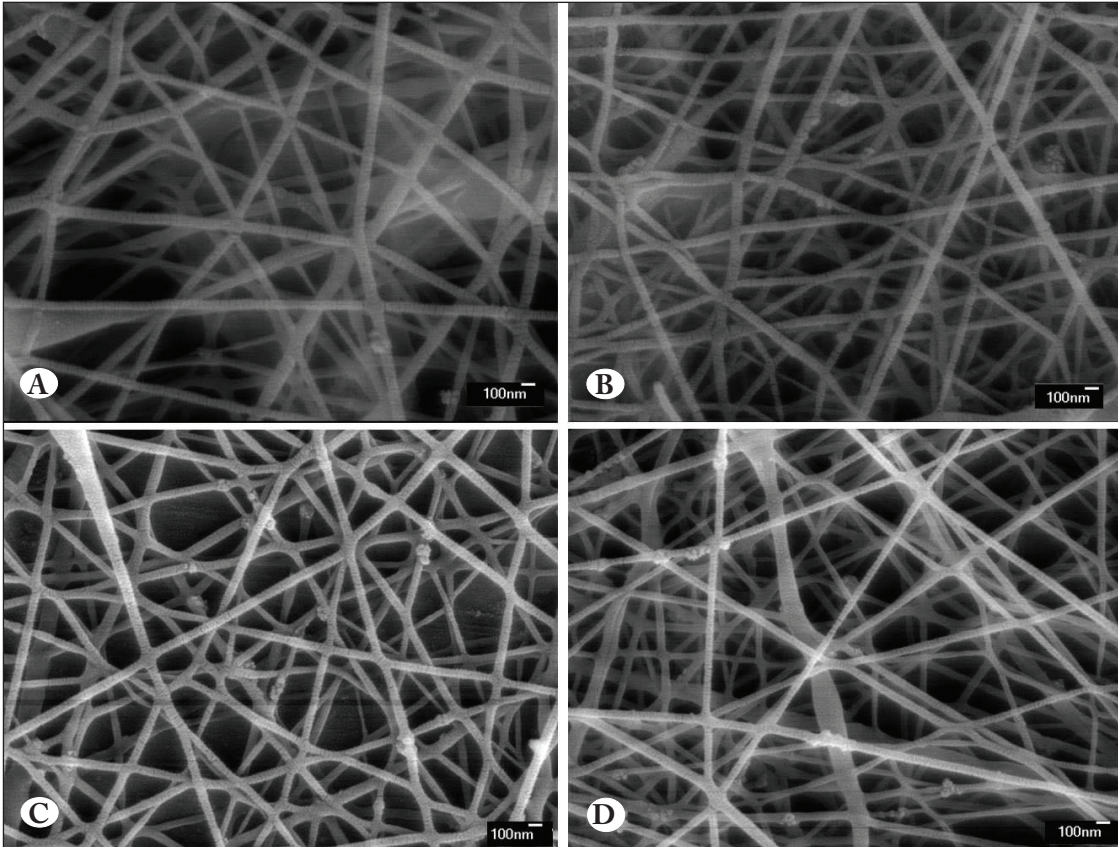


Şekil 2. TiO₂ parçacık HRTEM görüntüsü.

değerlerinde elde edilen fiberlerin morfolojik görüntüleri kıyaslandığında 10 kV gücünde fiber oluşumunun daha iyi olduğu görülmektedir.

Elektro eğirme akış hızının PLA fiber içerisinde TiO₂ nano parçacık dağılımına etkisini belirlemek amacıyla 0.63 mm iğne ucu çapında, 10 kV gücünde 0.2 ml/sa ve 0.5 ml/sa akış hızlarında fiberlere elektro eğirme işlemi uygulanmıştır. Elde edilen fiberlerin SEM görüntüsü Şekil 4A, B'de yer almaktadır ve TiO₂ nano parçacıkların bir kısmı oklarla belirtilmiştir. Farklı akış hızlarında üretilen PLA fiberler içerisindeki TiO₂ nano parçacık dağılımı morfolojik olarak benzerlik göstermektedir ve elde edilen fiberlerin çapları yaklaşık 100 nm olarak hesaplanmıştır.

Üçlü çözücü sistemi (kloroform, DMF ve THF) kullanılarak %8'lik PLA nano fiber üretimi farklı voltaj ve akış hızlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen fiberlerin morfolojik görüntüleri ortalama fiber çaplarıyla Şekil 5A-C'de yer almaktadır. Şekil 5A-C'de yer alan görüntüleri göre üçlü çözücü sistemi kullanılarak üretilen PLA nano fiberlerde de tekli çözücü kullanılarak üretilen fiberler gibi boncuk oluşumu gözlenmemiştir.

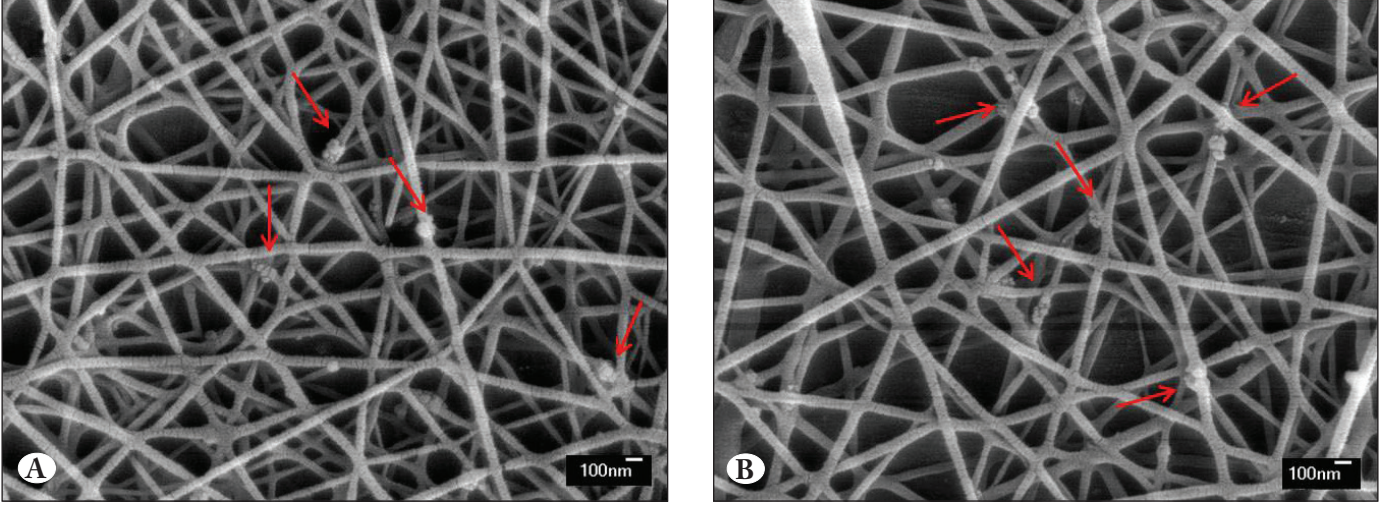


Şekil 3. Elektro eğirme yöntemi ile üretilmiş nano boyutlu TiO₂ katkılı PLA nano fiberlerin 0.5 ml/sa akış hızında, farklı şırınga çapı ve farklı voltaj değerlerinde; (A) 0.83 mm, 10 kV, (B) 0.83 mm, 15 kV, (C) 0.63 mm, 10 kV ve (D) 0.63 mm, 15 kV değişimi SEM görüntüsü.

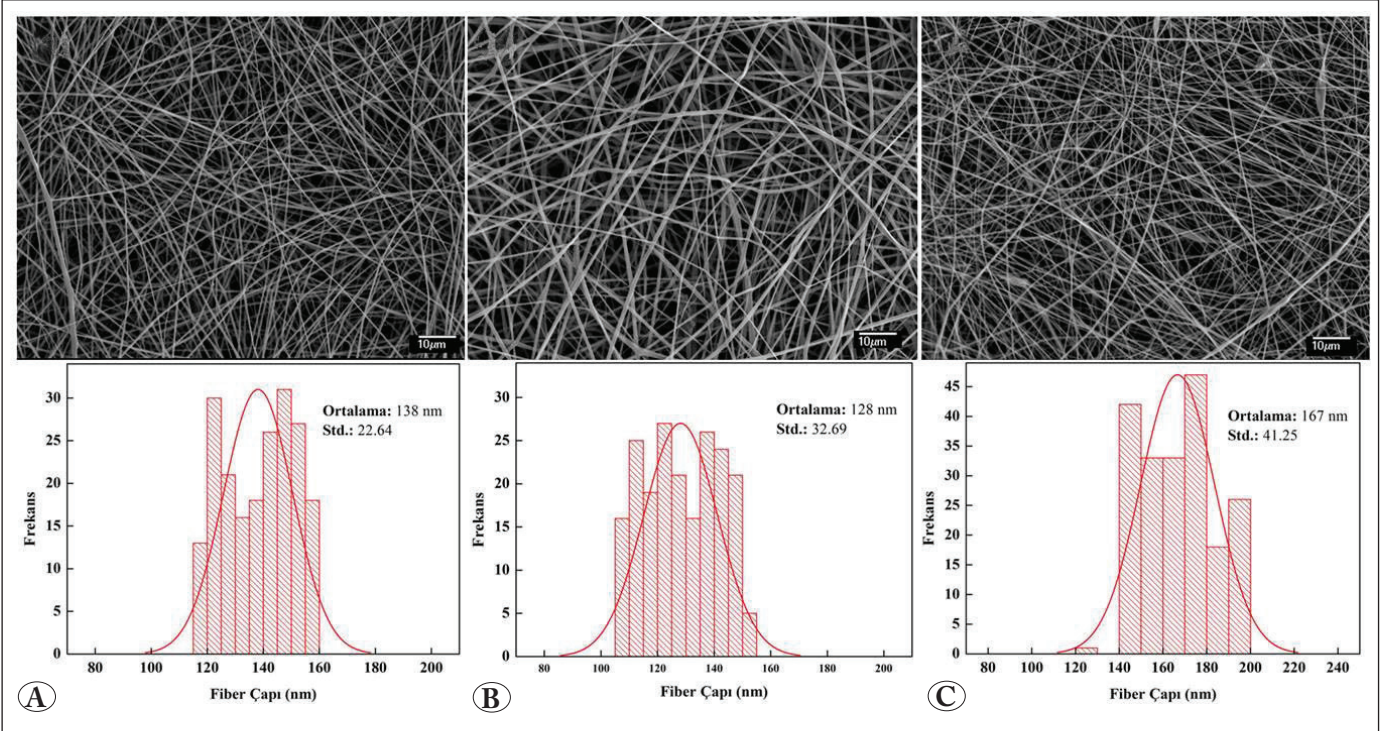
Üçlü çözücü sistemi kullanılarak üretilen PLA nano fiberlerde akış hızı sabit tutularak (0.2 ml/sa) uygulanan voltaj değiştirildiğinde ortalama fiber çapları sırasıyla 10 kV için 138 ± 22.64 nm, 15 kV için 128 ± 32.69 nm olarak hesaplanmıştır. Üçlü sistem kullanılarak aynı voltaj değerinde (10 kV), 0.2 ml/ sa akış hızında üretilen fiber çapı 138 ± 22.64 nm iken 0.5 ml/sa akış hızında üretilen fiberin

çapı 167 ± 41.25 nm olarak ölçülmüştür ve elde edilen fiberlerde boncuk oluşumu gözlenmemiştir. Şekil 6'da farklı akış hızı ve voltaj değişimlerinde elde edilen nano fiber çapları yer almaktadır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda PLA fiber üretim gücü 10 kV olarak belirlenmiş ve çalışmalara PLA çözeltilisine



Şekil 4. Elektro eğirme yöntemi ile üretilmiş TiO₂ nano tanecik katkılı PLA nanofiberlerin 0.63 mm şırınga çapında, 10 kV voltaj uygulandığında, farklı akış hızlarında; (A) 0.2 ml/sa ve (B) 0.5 ml/sa SEM görüntüsü.



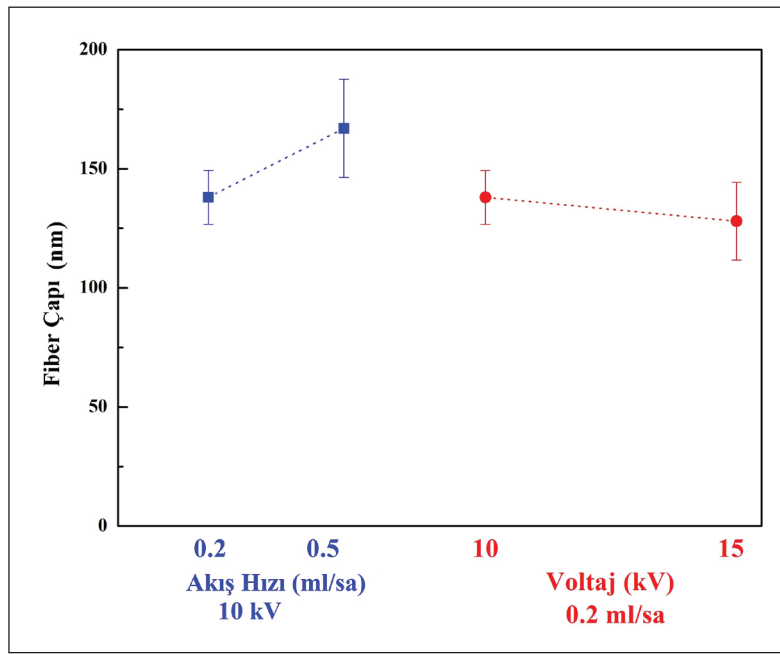
Şekil 5. Elektro eğirme yöntemi ile üretilmiş PLA nano fiberlerin 0.63 mm şırınga çapında, farklı voltaj ve farklı akış hızlarında; (A) 10 kV, 0.2ml/sa, (B) 15 kV, 0.2 ml/sa ve (C) 10 kV, 0.5 ml/sa SEM görüntüsü.

TiO₂ nano parçacık içeren çözelti katılarak devam edilmiştir. TiO₂ parçacıkların fiber içerisinde dağılımını belirlemek üzere 0.63 mm çaplı şırınga kullanılarak, 15 cm'lik iğne ucu - toplayıcı mesafesinde, 10 kV voltaj değerinde farklı akış hızlarında (0.2, 0.3 ve 0.5 ml/sa) elektro eğirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Akış hızı 0.2 ml/sa olduğunda üretilen nano boyutlu TiO₂ katkılı PLA fiberlerin farklı büyütmelerdeki görüntüsü Şekil 7A, B'de yer almaktadır. Fiber çapı 130 ± 38.82 nm olarak hesaplanmıştır ve morfolojik değişimi incelendiğinde TiO₂ nano parçacıkların bir kısmının fiber içerisinde toplanarak yer aldığı Şekil 7A, B'de oklarla belirtilmiştir.

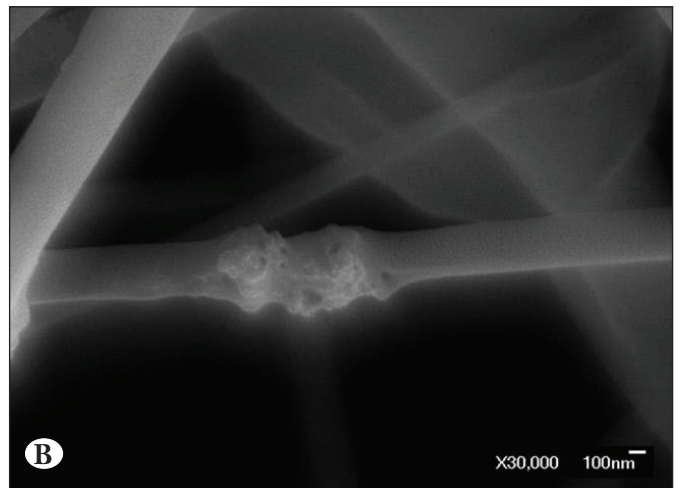
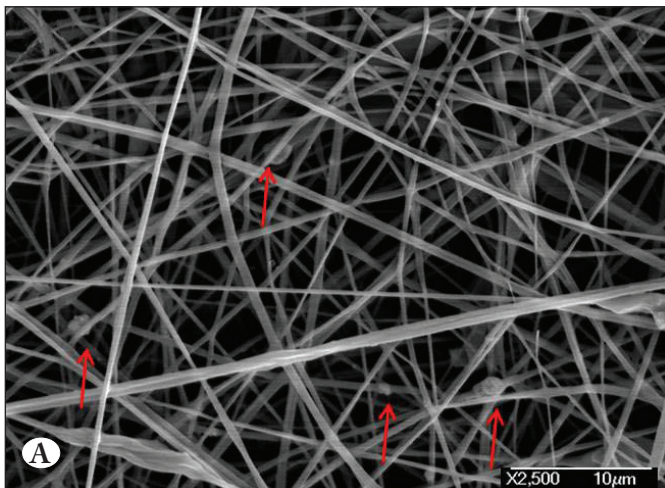
Akış hızının 0.5 ml/sa olduğunda TiO₂ nano parçacıkların dağılımı ise Şekil 8A, B'de yer almaktadır ve fiber çapı 163 ± 43.97 nm olarak ölçülmüştür. Farklı akış hızlarında elde edilen nano PLA fiberlerdeki TiO₂ dağılımını iyileştirmek amacıyla elektro eğirme prosesi akış hızı 0.3 ml/sa de fiber üretimi yapılmıştır.

Elde edilen fiberlerin farklı büyütmelerde ve farklı yerlerden alınan SEM görüntüleri Şekil 9A-C'de yer almaktadır. Fiber çapları yaklaşık 156 ± 28.81 nm olarak ölçülmüştür.

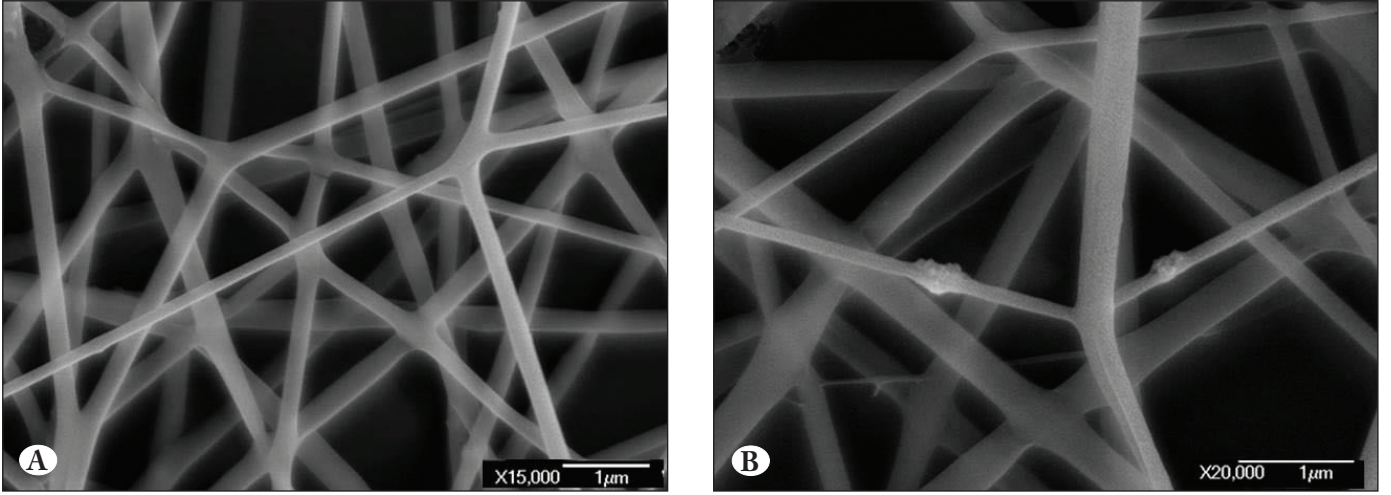
TiO₂ nano parçacık katkılı PLA fiberlerin farklı akış hızlarındaki üretiminde akış hızı artışıyla fiber çaplarında



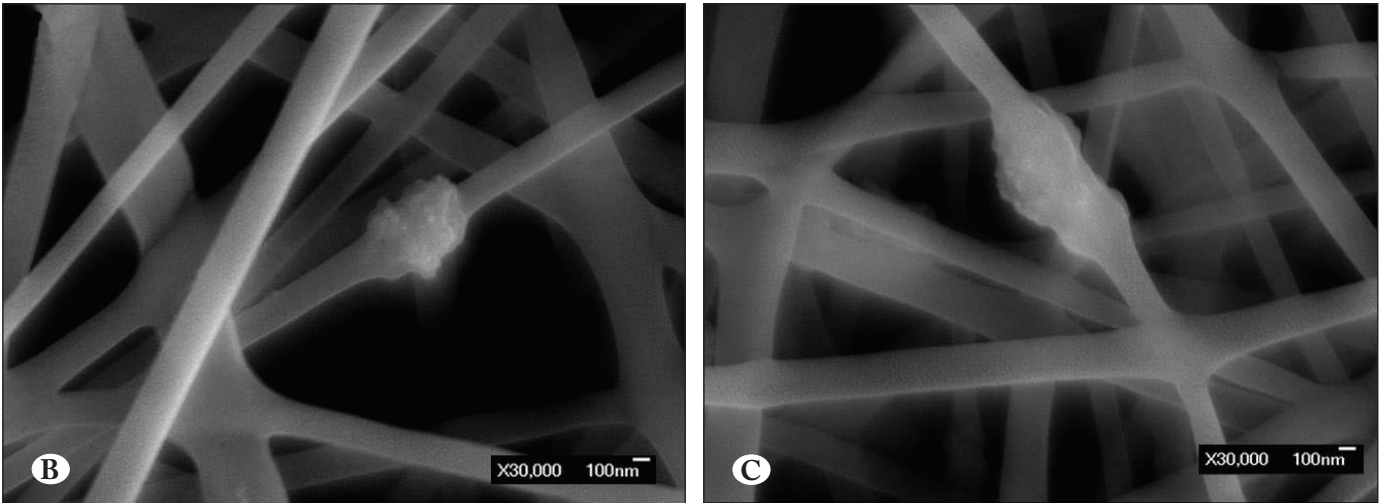
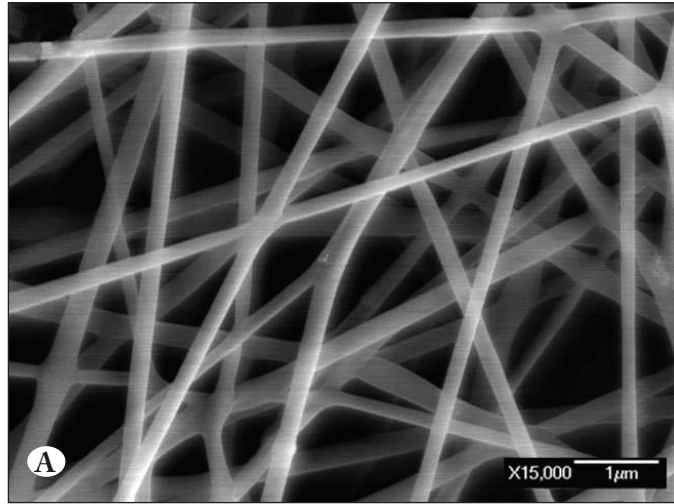
Şekil 6. Farklı akış hızlarında ve voltaj değerlerinde elde edilen PLA nano fiber çap değişimi görüntüsü.



Şekil 7. Elektro eğirme yöntemi ile 0.2 ml/sa akış hızında üretilmiş nano TiO₂ katkılı PLA fiberlerin farklı büyütme SEM görüntüleri; (A) 2.500X ve (B) 30.000X.



Şekil 8. Elektro eğirme yöntemi ile 0.5 ml/sa akış hızında üretilmiş nano TiO₂ katkılı PLA fiberlerin farklı büyütme SEM görüntüleri; (A) 15.000X ve (B) 20.000X.

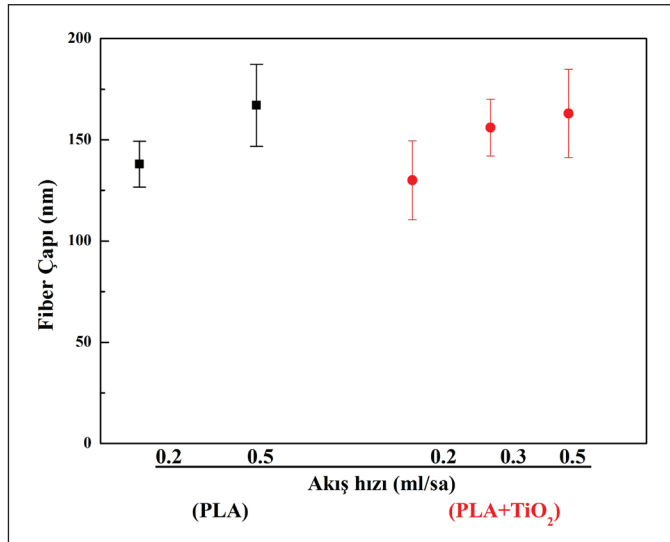


Şekil 9. Elektro eğirme yöntemi ile 0.3 ml/sa akış hızında üretilmiş nano TiO₂ katkılı PLA fiberlerin farklı büyütme ve farklı bölgelerden alınmış SEM görüntüleri; (A) 15.000X, (B) 30.000X ve (C) 30.000X farklı bölge.

artış meydana gelmiştir. Şekil 10'da TiO₂ katkılı ve katkısız PLA nano fiberlerin çapları yer almaktadır.

Alüminyum altlığın üzerine biriktirilmiş TiO₂ katkılı PLA nano fiberlerin noktasal EDS analizi yapılmıştır. Şekil 11'de de görüldüğü gibi EDS analizi sonucu başlangıç kimyasallarından gelen ve oluşmasını istediğimiz Ti ve O elementleri ve fiberden gelen C elementi pikleri görülmektedir. Ayrıca isimsiz pik toplayıcı altlıktan gelen alüminyuma ve kaplamadan gelen platine aittir.

PLA nano fiber içerisinde TiO₂ dağılımını daha detaylı olarak incelemek amacıyla HRTEM karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 12A, B). Yapılan inceleme sonucunda 0.3 ml/sa akış hızında 10 kV voltaj değerinde



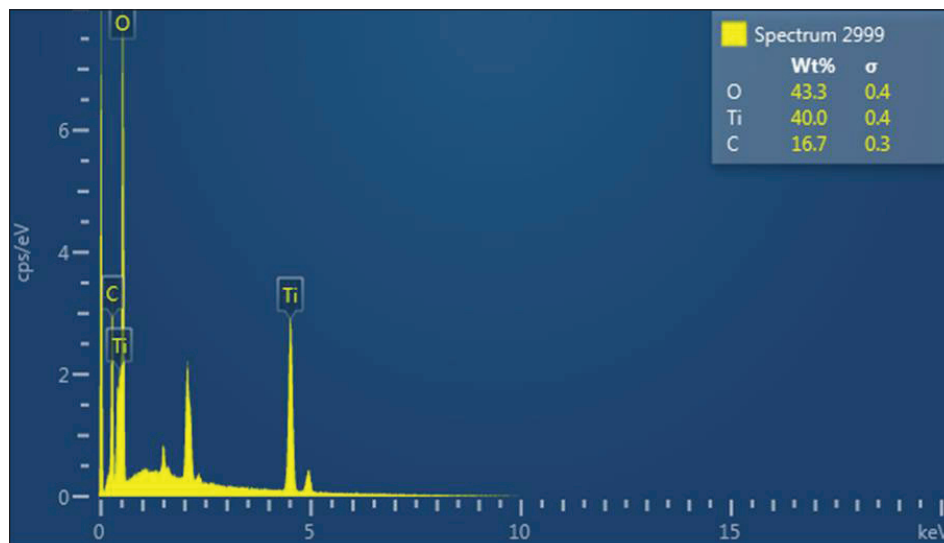
Şekil 10. PLA ve TiO₂ katkılı PLA farklı akış hızlarında fiber çap değişimi görüntüsü.

üretmiş nano TiO₂ katkılı tanecikler, PLA fiberlerin içerisinde daha iyi bir dağılım sergilemiştir.

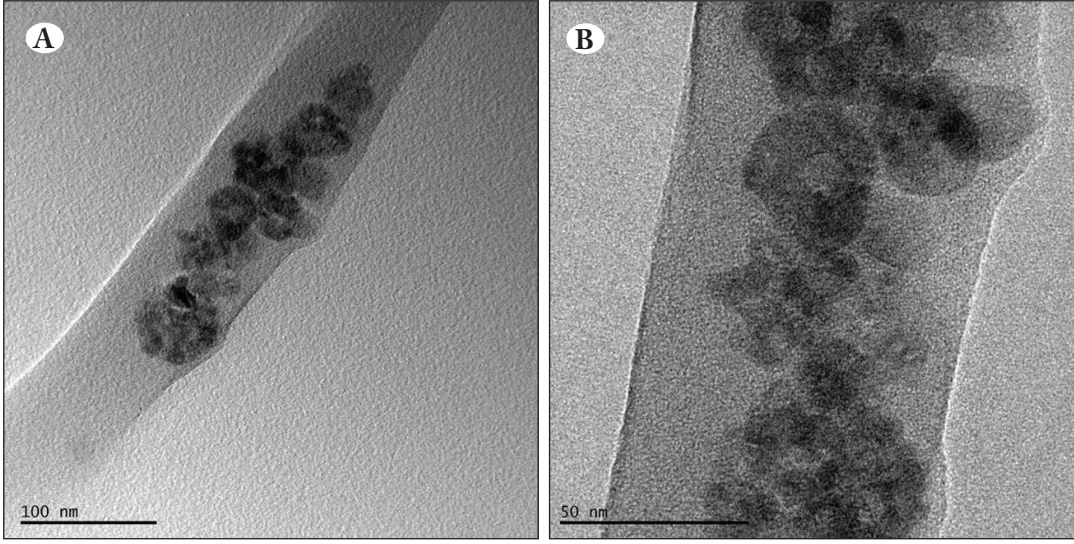
4. Tartışmalar

Yapılan çalışmada nano boyutlu TiO₂ parçacık katkılı PLA nano fiber üretiminde elektro eğirme yöntemi parametrelerinden çözelti ve üretim parametrelerinin fiber oluşumu üzerine etkisini detaylı olarak incelenmiştir. Üretim parametrelerinden iğne ucu çapının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda fiber üretimi 0.63 mm ve 0.83 mm çapa sahip iğne uçları kullanılarak tek çözücülü sistem için gerçekleştirilmiştir. İğne çapı azaldıkça daha ince fiber çapı elde etmek mümkün olsa da çözeltinin toplayıcı yüzeyine iletilmesi zorlaşarak, iğne ucunda tıkanma ve elde edilen nano fiber morfolojisinde boncuk oluşumu meydana gelmektedir (Zhao vd. 2004, Ramakrishna vd. 2005, Macossay vd. 2006, Haider vd. 2018). Elde edilen sonuçlara göre farklı iğne ucu çaplarında boncuk oluşumu görülmezken fiber çap değerleri benzerlik göstermiştir. Sonuçlar morfolojik olarak kıyaslandığında 0.63 mm iğne çapı ile daha iyi fiberler dağılımı elde edilmiştir. Ancak tek çözücü kullanılarak elde edilen PLA fiber içerisinde TiO₂ nano parçacıkların fiber içerisinde yer yer topaklanarak yer aldığı görülmüş (Şekil 3A-D) iyi bir tanecik dağılımı sağlanamamıştır.

PLA nano fiber çapı ve morfolojisi farklı çözücü sistemlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Çözücü türlerinin belirlenmesinde kullanılan temel parametreler; kaynama noktası, viskozite, elektriksel iletkenlik, dielektrik sabiti, yüzey gerilimi, çözünürlük parametresi şeklindedir. Jahangir vd. (2017) kaynama noktasının etkisini incelemek amacıyla tekli



Şekil 11. Elektro eğirme yöntemi ile 0.3 ml/sa akış hızında üretilmiş nano TiO₂ katkılı PLA fiberlerin üzerinden alınan noktasal EDS analizi.



Şekil 12. Elektro eğirme yöntemi ile 0.3 ml/sa akış hızında üretilmiş nano TiO₂ katkılı PLA fiberlerin farklı büyütmelerdeki HRTEM görüntüsü.

ve ikili çözücülü çözelti sistemleri kullanarak PLA nano fiber üretimi yapmışlardır. Deneysel çalışmalarında, tek çözücülü sistemlerinde çok çeşitli çözücülerle denemeler yapmalarına rağmen, PLA nano fiber oluşumunu çözücü olarak aseton kullandıklarında elde etmişlerdir. Diğer çözücülere aseton ilavesiyle ikili çözücü sistemlerine yönelik yaptıkları incelemelerde, ikinci çözücünün kaynama noktasının nano fiber çapını etkilediğini gözlemlemişlerdir. Asetonla birlikte düşük kaynama noktalarına sahip kloroform (61°C) ve THF (66°C), PLA nano fiberlerin çaplarını arttırırken, yüksek kaynama noktalarına sahip DMF (153°C) kullanıldığında fiber çapı azalma meydana gelmiştir. Gerçekleştirilen mevcut çalışmada Jahangir vd. (2017)'den farklı olarak kloroformun kullanıldığı tek çözücülü sistemde PLA nano fiber üretimi gerçekleştirilmiştir ve elde edilen fiberlerin çapları yaklaşık 100 nm olarak ölçülmüştür. Kloroform, THF ve yüksek kaynama noktalarına sahip DMF içeren üç çözücülü sistemde ise üretilen PLA nano fiber çaplarının, tek çözücülü sisteme kıyasla azalması beklenirken elde edilen sonuçlara fiber çaplarında artış meydana geldiğini göstermektedir. Bu durum yüksek kaynama noktasına sahip çözücü içeren polimer jetin kolektör yüzeyine ulaşmaya kadar kuruma süresinin artarak kolektör yüzeyinde daha geniş çaplı fiber elde edilmesine neden olmaktadır şeklinde açıklanabilir.

Çözelti türünü çözeltinin elektriksel özelliğine bağlı olarak değişimine yönelik yapılan çalışmalarda ise dielektrik özelliği fazla olan bir çözeltide boncuk oluşumunun azaldığı ve oluşan fiberlerin çapında değişim meydana geldiğini gözlemlenmiştir (Son vd. (2004). Lee vd. (2018) de yaptıkları çalışmada, DMF ve THF gibi çözücülerin, fiber

çözeltisine katıldığında dielektrik özelliği artırarak, fiber morfolojisinde boncuk oluşumunu azalttığı vurgulanmıştır. Gerçekleştirilen mevcut çalışmada da üçlü çözücü sistemi kullanılarak üretilen PLA nano fiberlerde, DMF in yüksek dielektrik katsayısına (36.70) sahip olması, fiber jetinin yüzey yükünün artırmış, boncuksuz, küçük standart sapma değerlerine sahip (138 ± 22.64), homojen fiber dağılımı (Şekil 5A-C) sağlanmıştır.

Elektro eğirme üretim parametrelerinden biri olan voltaj değişimi, fiberlerin dizilimlerini, fiziksel görünüşlerini ve kristal yapılarını önemli ölçüde etki etmektedir (Chong vd. 2007). Taylor (1964), elektro eğirme yöntemi sürecinde uygulanacak voltaj için 6 kV değerini kritik değer olarak belirlemiştir. Kritik değere yakın voltajlarda fiber oluşumu zorlaşırken, çok yüksek voltaj uygulamalarında ise jet küresel yapıya dönerek fiberlerde boncuk yapı oluşumuna neden olabilmektedir (Zhao vd. 2004, Ramakrishna vd. 2005). Deitzel vd. 2001 yapmış oldukları çalışmada, uygulanan voltaj değerinin yüksek olduğu durumlarda çözeltinin yüzey gerilimi ve yük yoğunluğu artarak kolektör yüzeyine ilerleyen polimer jetin kararlılığının bozulmasıyla boncuk oluşumu gözlemlenmiştir. Uygulanan voltajın kritik değeri polimer türü ve çözeltisine göre değişim göstermektedir. Optimum voltaj değerinin belirlenmesiyle birkaç mikrondan onlarca nanometre aralığında çaplara sahip fiberler elde etmek mümkündür (Sill ve Recum 2008, Haider vd. 2018).

Polimer çözelti akış hızı şırınga ucundan transfer edilen çözelti miktarının değişimiyle elde edilen fiber yapı ve çapının değişimi üzerinde etkilidir. Taylor konisini kararlı olduğu akışlardan fazla bir çözelti akışı olduğunda oluşan

jet ve jetin kuruması için gerekli olan zaman da artmaktadır. Böyle durumlarda gerek fiber çapında artış gerekse de boncuk oluşumu gözlenmektedir (Deitzel vd. 2001, Huang vd. 2003).

Akış hızının fiber çap değişimine etkisinin incelendiği literatür çalışmalarında polimer türü ve çözelti özelliklerine bağlı olarak farklı yaklaşımlar yer almaktadır. Yaygın olarak artan akış hızıyla fiber çapında artış gözlemlenirken, akış hızının boncuk oluşumunu önleyecek şekilde belirlenmesi gerekmektedir (Zong vd. 2002, Sill ve Recum 2008, Haider vd. 2018) Yapılan morfolojik incelemelere göre tek ve üçlü çözücü sistemler kullanılarak üretilen TiO₂ katkılı ve katkısız PLA nano fiberlerde boncuk oluşumu gözlenmemiştir. Ayrıca literatür çalışmalarına benzer şekilde akış hızına bağlı olarak fiber çaplarında artış meydana gelmiştir (Şekil 6).

PLA fiber üretimi optimizasyon çalışmaları sonucunda fiber üretim gücü 10 kV olarak belirlenmiş ve çalışmalara TiO₂ nano parçacık ilaveleriyle devam edilmiştir. Uygulanan voltaj sabit tutularak akış hızı 0.2 ml/sa ve 0.5 ml/sa olarak değiştirilmiştir. Artan akış hızına bağlı olarak fiberlerin çapında da artış meydana gelmiştir (Sill ve Recum 2008). Ayrıca akış hızı 0.2 ml/sa'den 0.5 ml/sa'e arttıkça TiO₂ tanecikler fiber içerisinde topaklanmalar mevcut olsa da 0.5 ml/sa akış hızında PLA nano fiber içerisinde daha iyi bir dağılım elde edilmiş ancak PLA nano fiber dağılımının homojen olmadığı görülmüştür. 0.3 ml/sa akış hızında üretilen fiberlerde ise daha homojen PLA nano fiber dağılımı ve daha az topaklama sorunu gözlenmiştir. Ayrıca üç farklı akış hızında üretilen TiO₂ parçacık katkılı PLA nano fiberlerde en küçük sapma değeri (156 ±28.81 nm) 0.3 ml/sa akış hızında elde edilmiştir.

Yapılan morfolojik incelemeler sonucunda TiO₂ dağılımının en iyi olduğu parametre değerleri voltaj 10 kV ve akış hızı 0.3 ml/sa olarak belirlenmiştir. Bu üretim parametrelerinde elde edilen PLA fiberlerin içerisindeki TiO₂ dağılımını detaylı olarak incelemek amacıyla HRTEM karakterizasyonu yapılmış ve tanelerin fiber içerisinde daha iyi bir dağılım sergilediği görülmüştür. Ancak yer yer TiO₂ parçacıklardan kaynaklı PLA fiberlerin morfolojisinde bozulmalar meydana gelmiştir.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma sonucunda, elektro eğirme yöntemi üretim parametrelerinin (iğne çapı, güç, akış hızı) PLA nano fiber üretimine ve nano boyutlu TiO₂ parçacıkların fiber içerisinde dağılımına etkisinin büyük olduğunu ortaya koymuştur. Bu

parametrelerin optimum koşullarının belirlenmesi, istenilen morfoloji ve çaplara sahip nano fiber elde edilmesine olanak sağlamıştır.

- Elektro eğirme yöntemi üretim parametrelerinden iğne çapının etkisini belirlemek için yapılan çalışmalarda tek çözücülü polimer çözeltisi kullanılarak %8'lik PLA çözeltisine nano boyutlu TiO₂ katkılanmış farklı güç ve akış hızlarında fiber üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen fiber çaplarında değişim görülmezken 0.63 mm'lik iğne ucunda daha iyi fiber dağılımı elde edilmiştir.
- PLA fiber içerisinde TiO₂ nano parçacık dağılımını iyileştirmek amacıyla üçlü çözücü sistemleri kullanılarak fiber üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen fiberlerin çapları tek çözücülü sistemle kıyaslandığında fiber çaplarında yaklaşık olarak %30'luk bir artış meydana gelmiştir.
- Farklı voltaj ve akış hızlarında gerçekleştirilen PLA nano fiber üretiminde üçlü çözücü sistemin kullanılmasıyla daha iyi fiber dağılımı elde edilmiştir. Akış hızı 0.2 ml/sa olarak sabit tutularak voltaj 10 kV'den 15 kV'ye arttırılmıştır. Elde edilen fiber çaplarında voltaj artışıyla yaklaşık olarak % 7 azalma gözlenmiştir. Bu azalmanın nedeni; uygulanan güç arttıkça polimer çözelti içerisindeki gerilimin artarak fiber çapını azaltması şeklinde açıklanabilir.
- Yapılan morfolojik incelemeler sonucunda PLA nano fiber üretimi için voltaj 10 kV olarak belirlenmiştir.
- PLA nano fiber içerisinde TiO₂ nano parçacık dağılımını akış hızının etkisini incelemek amacıyla farklı akış hızlarında fiber üretimi yapılmıştır. 0.2 ml/sa akış hızında üretilen fiberlerin çapı;130 ± 38.82 nm olarak hesaplanırken, 0.5 ml/sa akış hızında üretilen fiberlerin çapı 163 ± 43.97 nm olarak hesaplanmıştır. Akış hızı arttıkça fiber çaplarında artış meydana gelmiştir.
- PLA nano fiber içerisine TiO₂ nano parçacık katılmasıyla elde edilen fiberlerin morfolojik incelemeleri; 0.63 mm iğne çapı, 10 kV güç ve 0.3 ml/sa akış hızı değerlerinin en iyi üretim parametre değerleri olduğunu ortaya koymuştur. Bu üretim parametrelerinde yapılan HRTEM karakterizasyonu nano boyutlu TiO₂ tanelerin PLA nano fiber içerisinde homojen olarak dağıldığını ortaya koymuştur.
- Elde edilen sonuçlar doğrultusunda çok yönlü ve ucuz bir sistem olan elektro eğirme yöntemi kullanılarak nano boyutlu PLA fiber üretimi gerçekleştirilmiştir.

Elektro eğirme parametrelerinin optimizasyonu sonucunda nano boyutlu PLA çözeltilisine foto aktivite ve biyo-uyumluluk gibi gelişmiş özelliklere sahip nano boyutlu TiO₂ katkılanarak biyomedikal ve biyo-analiz gibi uygulama alanlarına kolaylıkla aktarılacak nano fiber üretimi parametreleri belirlenmiştir.

6. Kaynaklar

- Armentano, I., Dottori, M., Fortunati, E., Mattioli, S., Kenny, J.M., 2010.** Biodegradable polymer matrix nanocomposites for tissue engineering: A review. *Polym. Degrad. Stab.*, 95: 2126–2146. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.06.007>
- Barkoula, N. M., Alcock, B., Cabrera, N. O., Peijs T., 2008.** Fatigue properties of highly oriented polypropylene tapes and all-polypropylene composites. *Polym. Polym. Compos.*, 16 (2): 101–113. <https://doi.org/10.1177/096739110801600203>
- Beachley, V., Wen, X., 2009.** Effect of electrospinning parameters on the nanofiber diameter and length. *Mater. Sci. Eng. C*, 29(3): 663–668. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2008.10.037>
- Bhardwaj, N., and Kundu, S. C., 2010,** Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnol. Adv.*, 28 (3): 325–347. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.01.004>
- Buzarovska, A., Grozdanov, A., 2012.** Biodegradable Poly(L-lactic acid)/TiO₂ Nanocomposites: Thermal Properties and Degradation. *J. Appl. Polym. Sci.*, 123: 2187–2193. <https://doi.org/10.1002/app.34729>
- Buzarovska, A., 2013.** PLA Nanocomposites with Functionalized TiO₂ Nanoparticles. *Polym-Plast Technol*, 52: 280–286. <https://doi.org/10.1080/03602559.2012.751411>
- Casasola, R., Thomas, N.L., Trybala, A., Georgiadou, S., 2014.** Electrospun poly lactic acid (PLA) fibres: Effect of different solvent systems on fibre morphology and diameter. *Polym.*, 55:4728 – 4737. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2014.06.032>
- Chen, C., Lv, G., Pan, C., Song, M., Wu, C., Guo, D., Wang, X., Chen, B., Gu, Z., 2007.** Poly(lactic acid) (PLA) based nanocomposites-a novel way of drug-releasing. *Biomed. Mater.*, 2(4):L1–L4. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-6041/2/4/L01>
- Chong, E.J., Phan, T.T., Lim, I.J., Zhang, Y.Z., Bay, B.H., Ramakrishna, S., Lim, C.T., 2007.** Evaluation of electrospun PCL/gelatin nanofibrous scaffold for wound healing and layered dermal reconstitution. *Acta Biomater.*, 3(3): 321–330. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2007.01.002>
- Costa, R. G. F., Brichi, G. S., Ribeiro, C., Mattoso, L. H. C., 2016.** Nanocomposite fibers of poly(lactic acid)/titanium dioxide prepared by solution blow spinning. *Polym. Bull.*, 73: 2973–2985. <https://doi.org/10.1007/s00289-016-1635-1>
- Deitzel, J. M., Kleinmayer, J., Harris, D., Beck Tan, N. C., 2001.** The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibres and textiles. *Polym.*, 42: 261–272. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(00\)00250-0](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(00)00250-0)
- Diebold, U. , 2003.** The surface science of titanium dioxide. *Surf. Sci. Rep.*48(5–8): 53–229. [https://doi.org/10.1016/S0167-5729\(02\)00100-0](https://doi.org/10.1016/S0167-5729(02)00100-0)
- Ding, J., Zhang, J., Li, J., Li, D., Xiao, C., Xiao, H., Yang, H., Zhuang, X., Chen, X., 2019.** Electrospun polymer biomaterials. *Prog. Polym. Sci.*, 90:1–34. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2019.01.002>
- Gong, M., Zhao, Q., Dai, L., Li, Y., Jiang, T., 2017.** Fabrication of polylactic acid/hydroxyapatite/graphene oxide composite and their thermal stability, hydrophobic and mechanical properties. *J. Asian Ceram. Soc.*, 5: 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.jascer.2017.04.001>
- Gasmi, S., Hassan, M. K., Luyt, A. S., 2018.** Crystallization and dielectric behaviour of PLA and PHBV in PLA/PHBV blends and PLA/PHBV/TiO₂ nanocomposites. *EXPRESS Polym. Lett.*, 13(2): 199–212. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2019.16>
- Gupta, K. K., Mishra, P. K., Srivastav, P., Gangwar, M., Nath, G., Maiti, P., 2013.** Hydrothermal in situ preparation of TiO₂ particles onto poly(lactic acid) electrospun nanofibres. *Appl. Surf. Sci.*, 264: 375– 382. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.10.029>
- Haider, A., Haider, S., Kang, I.K., 2018.** A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. *Arab. J. Chem.*, 11(8): 1165–1188. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.11.015>
- Herrero-Herrero, M., Gómez-Tejedor, J. A., Vallés-Lluch, A., 2018.** PLA/PCL electrospun membranes of tailored fibres diameter as drug delivery systems. *Eur. Polym. J.*, 99: 445–455. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.12.045>
- Hong, Y., Li, Y., Zhuang, X., Chen, X., Jing X., 2009.** Electrospinning of multicomponent ultrathin fibrous nonwovens for semi-occlusive wound dressings. *J. Biomed. Mater. Res. Part A*, 89(2): 345–354. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.31968>
- Hu, X., Liu, S., Zhou, G., Huang, Y., Xie, Z., Jing, X. 2014.** Electrospinning of polymeric nanofibers for drug delivery applications. *J. Control. Release*, 185(1): 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.04.018>
- Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Kotaki, M., Ramakrishna, S., 2003.** A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Compos. Sci. Technol.*, 63 (15): 2223–2253. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00178-7](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00178-7)

- Jahangir, M. A., Rumi, T. M., Wahab, A., Rahman, M. A., Bin Sayed, Z., 2017.** Poly Lactic Acid (PLA) Fibres: Different Solvent Systems and Their Effect on Fibre Morphology and Diameter. *Am. J. Chem.*, 7(6): 177–186. <https://doi.org/10.5923/j.chemistry.20170706.01>
- Lee, J. K. Y., Chen, N., Peng, S., Li, L., Tian, L., Thakor, N., Ramakrishna, S. 2018.** Polymer based composites by electrospinning: Preparation & functionalization with nanocarbons. *Prog. Polym. Sci.*, 86: 40–84. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2018.07.002>
- Macossay, J., Marruffo, A., Rincon, R., Eubanks, T., Kuang A., 2006.** Effect of needle diameter on nanofiber diameter and thermal properties of electrospun poly(methyl methacrylate). *Polym. Adv. Technol.*, 18: 180–183. <https://doi.org/10.1002/pat.844>
- Man, C., Zhang, C., Liu, Y., Wang, W., Ren, W., Jiang, L., Reisdorffer, F., Nguyen, T. P., Dan, Y., 2012.** Poly (lactic acid)/titanium dioxide composites: Preparation and performance under ultraviolet irradiation. *Polym. Degrad. Stab.*, 97 : 856–862. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.03.039>
- Ojjo, V., S. Ray, S., 2013.** Processing strategies in bionanocomposites. *Prog. Polym. Sci.*, 38: 1543–1589. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.011>
- Pan, J., Thierry, D., Leygraf, C., 1996.** Electrochemical impedance spectroscopy study of the passive oxide film on titanium for implant application. *Electrochim. Acta*, 41(7–8): 1143–1153. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(95\)00465-3](https://doi.org/10.1016/0013-4686(95)00465-3)
- Pillay, V., Dott, C., Choonara, Y. E., Tyagi, C., Tomar, L., Kumar, P., C. du Toit, L., Ndesendo, V. M. K., 2012.** A Review of the Effect of Processing Variables on the Fabrication of Electrospun Nanofibers for Drug Delivery Applications. *J. Nanomater.*, 2013: 1-22 <https://doi.org/10.1155/2013/789289>
- Ramakrishna, S. , Fujihara, K. , Teo, W.E., Lim, T.C., and MaIntroduction, Z. 2005.** An Introduction to Electrospinning and Nanofibers. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., ISBN 981-256-415-2. <https://doi.org/10.1142/5894>
- Rasouli, H.R., Golestani-fard, F., Mirhabibi, A.R., Nasab, G.M., Mackenzie, K.J.D., Shahraki, M.H 2015.** Fabrication and properties of microporous metakaolin-based geopolymer bodies with polylactic acid (PLA) fibers as pore generators. *Ceram. Int.*, 41(6): 7872–7880. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.02.125>
- Rong, Z., Zeng, W., Kuang, Y., Zhang, J., Liu, X., Lu, Y., Cheng, X., 2015.** Enhanced Bioactivity of Osteoblast-like Cells on Poly(lactic acid)/Poly(methyl methacrylate)/Nanohydroxyapatite Scaffolds for Bone Tissue Engineering. *Fiber Polym.*, 16 (2): 245–253. <https://doi.org/10.1007/s12221-015-0245-0>
- Scaffaro, R., Lopresti, F., 2018.** Processing, structure, property relationships and release kinetics of electrospun PLA/Carvacrol membranes. *Eur. Polym. J.*, 100: 165–171. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2018.01.035>
- Sill, T. J., Recum. H. A., 2008.** Electrospinning: Applications in drug delivery and tissue engineering. *Biomaterials*, 29: 1989–2006. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.01.011>
- Son, W. K., Youk, J. H., Lee, T. S., Park, W. H., 2004.** The effects of solution properties and polyelectrolyte on electrospinning of ultrafine poly(ethylene oxide) fibers. *Polym.*, 45(9): 2959–2966. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2004.03.006>
- Song, M., Pan, C., Li, J., Wang, X., Gu Z., 2006.** Electrochemical Study on Synergistic Effect of the Blending of Nano TiO₂ and PLA Polymer on the Interaction of Antitumor Drug with DNA. *Electroanalysis*, 18 (19-20): 1995 – 2000. <https://doi.org/10.1002/elan.200603613>
- Song, M., Pan, C., Chen, C., Li, J., Wang, X., Gu Z., 2008.** The application of new nanocomposites: Enhancement effect of polylactide nanofibers/nano-TiO₂ blends on biorecognition of anticancer drug daunorubicin. *Appl. Surf. Sci.*, 255: 610–612. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.06.131>
- Song, K., Wu, Q., Qi, Y., Kärki, T., 2017.** Electrospun nanofibers with antimicrobial properties. In: Afshari, M., Electrospun Nanofibers. Woodhead Publishing Series in Textiles, Elsevier Inc., p.p. 551–569.
- Tan, S-H., Inai, R., Kotaki, M., Ramakrishna, S., 2005.** Systematic parameter study for ultra-fine fiber fabrication via electrospinning process. *Poly.*, 46:6128–6134. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2005.05.068>
- Taylor, G., 1964.** Disintegration of Water Drops in an Electric Field,” *Proc. R. Soc. Lond. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 280 (1382): 383–397. <https://doi.org/10.1098/rspa.1964.0151>
- Taylor, G., 1969.** Electrically Driven Jets. *Proc. R. Soc. Lond. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 313(1515): 453–475. <https://doi.org/10.1098/rspa.1969.0205>
- Yang, T., Wu, D., Lu, L., Zhou, W., Zhang, 2011.** Electrospinning of Polylactide and Its Composites With Carbon Nanotubes. *Polym. Compos.*, 32(8): 1280–1288. <https://doi.org/10.1002/pc.21149>
- Zhao, S., Wu, X., Wang, L., Huang, Y., 2004.** Electrospinning of Ethyl–Cianoethyl Cellulose/Tetrahydrofuran Solutions. *J. Appl. Polym.*, 91: 242–246. <https://doi.org/10.1002/app.13196>
- Zong, X., Kim, K., Fang, D., Ran, S., Hsiao, B. S., Chua, B., 2002.** Structure and process relationship of electrospun bioabsorbable nanofiber membranes. *Polym.*, 43: 4403–4412. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(02\)00275-6](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(02)00275-6)



177Lu Radyoizotopunun Hızlandırıcılarda Üretimi İçin Bir Benzetim

A Simulation for The Production of 177Lu Radioisotope in the Accelerators

Rıdvan Baldık*

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Zonguldak, Türkiye

Öz

Kanser hastalıklarının teşhis ve tedavisinde radyoizotopların kullanılması tıbbi radyolojide önemli bir değere sahiptir. Bir parçacık hızlandırıcısında üretilen bu radyoizotopların reaksiyon veriminin yüksek ve maliyetin düşük olması istenmektedir. Bunları sağlamak için nükleer reaksiyonların teorik olarak önceden tahmini kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, tümörlerin görüntülenmesi ve tedavisinde kullanılan ¹⁷⁷Lu radyoizotopunun bir parçacık hızlandırıcısı yardımıyla üretilmesi için muhtemel reaksiyonlar teorik olarak ele alınmıştır. Bu amaç için ¹⁷⁷Lu radyoizotopunun üretiminde kullanılabilecek olası reaksiyonların uyarılma fonksiyonları, reaksiyon verimleri ve ürün çekirdeğinin aktivitesi TALYS 1.9 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre ¹⁷⁷Lu radyoizotopunun üretiminde ele alınan reaksiyonlar arasında en uygun reaksiyonun ¹⁷⁶Yb(t,2n) reaksiyonu olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Denge öncesi nükleer reaksiyonlar, ¹⁷⁷Lu radyoizotopu, Uyarılma fonksiyonu

Abstract

The use of radioisotopes in the treatment and diagnosis of cancer diseases has an important value in medical radiology. In an accelerator, high production yield and low cost in the production of radioisotopes via nuclear reactions are desired. To provide these, the theoretical prediction of nuclear reactions has a crucial. For the production of the ¹⁷⁷Lu radioisotope used in the treatment and diagnosis of the tumors via a particle accelerator, the possible reaction are theoretically discussed in this study. For this aim, the excitation functions, reaction yields and product activities of the handled reactions are calculated by using TALYS 1.9 code. According to findings, it can be said that the optimal reaction for the ¹⁷⁷Lu radioisotope production is ¹⁷⁶Yb(t,2n) reaction.

Keywords: Pre-equilibrium nuclear reactions, ¹⁷⁷Lu radioisotope, Excitation function

1. Giriş

Nükleer tıpta kullanılan radyoizotoplar, reaktörlerde ve hızlandırıcılarda nükleer reaksiyonlar vasıtasıyla üretilmektedir. Bir radyoizotopun üretileceği reaksiyonun belirlenmesi için öncelikle ilgili reaksiyonun teorik olarak ele alınması deneysel çalışmalara büyük kolaylık sağlamaktadır. Eğer deneme yanılma yoluyla radyoizotop üretimine geçildiği takdirde, bu aşırı zaman kaybı ve yüksek maliyetler gibi zorlukları beraberinde getirmektedir (Baldık vd. 2013, Kaplan vd. 2009). Bu zorlukların aşılması açısından teorik nükleer reaksiyon verileri önemli bir yol göstericidir. Bu sebeple, tesir kesiti, reaksiyon verimi, ürün aktiviteleri vs. gibi teorik reaksiyon verilerinin hesaplanması ve sonuçlarının analiz edilmesi, radyoizotop üretimi için

büyük önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra, literatürde deneysel verileri bulunmayan reaksiyonlar için elde edilen teorik veriler ilgili reaksiyon doğasının anlaşılmasına ayrıca katkı sağlamaktadır.

Medikal ve diğer nükleer uygulamalarda kullanılmak üzere literatürde parçacık hızlandırıcısı ile radyoizotop üretiminin benzetiminin yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır, bu çalışmaların bazılarında kaynaklarından (Artun 2017a, 2017b, 2017c, 2018,) ulaşılabilir. Ayrıca tümörlerin teşhis ve tedavisinde kullanılan, literatüre geçmiş pek çok radyoizotop bulunmaktadır. Bu radyoizotoplardan biri ise Lutenyum-177 (¹⁷⁷Lu) radyoizotopudur (Hoedl ve Updegraff 2015, Srivastava ve Mausner 2013). Bu radyoizotopun tümörlerin hem teşhisinde hem de tedavisinde (theranostik bir radyoizotop olarak) kullanılması düşünülmektedir (Das ve Banerjee 2016). Bu radyoizotopun son yıllarda prostat kanserinin tedavi edilmesinde kullanıldığını rapor eden bazı çalışmalara rastlamak mümkündür (Ahmadzadehfar

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: rbaldik@gmail.com
ridvan.baldik@beun.edu.tr

vd. 2016, Baum vd. 2016, Delker vd. 2016, Emmett vd. 2017, Kratochwil vd. 2015, Tagawa vd. 2013). Ayrıca, bu radyoizotop endokrin ve sinir sisteminin oluşturduğu nöroendokrin sisteminde bulunan ve nöroendokrin tümör olarak bilinen tümörlerin tedavisi içinde umut verici olduğu belirtilmektedir (Hoedl ve Updegraff 2015). ¹⁷⁷Lu, 6.647 gün yarılanma ömrüne sahip olup beta bozunumuna (497 keV (%78.6), 384 keV (%9.1) ve 176 keV (12.2)) uğrayarak kararlı ¹⁷⁷Hf çekirdeğine bozunur ve ayrıca bu radyoizotop gama (208 keV (%11) ve 113 keV (%6.4)) yayıncısıdır (Audi vd. 2014, Firestone 1999, Pillai vd. 2003). Literatürde yüklü parçacıkların bir hedef üzerine gönderilerek ¹⁷⁷Lu radyoizotopunun üretimini teorik olarak ele alan tek çalışma Kambali (Kambali 2018) tarafından yapılmıştır. Kambali çalışmasında TALYS programı kullanarak ¹⁷⁶Yb(n,γ)¹⁷⁷Yb → ¹⁷⁷Lu ve ¹⁷⁶Yb(d,n)¹⁷⁷Lu reaksiyonlarının uyarılma fonksiyonlarını hesaplamış ve farklı hedef kalınlıkları için 50 μA'lık döteron ışın akımı için bu iki reaksiyonun benzetimini yapmıştır (Kambali, 2018). Bunun yanı sıra ¹⁷⁷Lu radyoizotopunu genel olarak nükleer reaktörlerde, lutenyumun doğal izotoplarından biri olan ¹⁷⁶Lu'nun hedef olarak kullanıldığı (n,γ) reaksiyonuyla doğrudan veya ¹⁷⁶Yb(n,γ)¹⁷⁷Yb → ¹⁷⁷Lu reaksiyonuyla dolaylı olarak üretilmektedir. Bunların yanı sıra, bir siklotronda, ¹⁷⁶Yb(d,n) reaksiyonuyla ¹⁷⁷Lu radyoizotopunun üretilme çalışmalarına literatürde rastlanılmaktadır (Hermanne vd. 2006, Manenti vd. 2011). Hermanne ve arkadaşları 2006 yılında yayımladıkları bir çalışmada, Brüksel'de Vrije Üniversitesinde bulunan siklotronda 20 MeV döteron gelme enerjisine kadar ¹⁷⁶Yb(d,n) reaksiyonu ile ¹⁷⁷Lu radyoizotopunun üretilmesini incelemişlerdir (Hermanne vd. 2006). Hermanne ve arkadaşlarının çalışmasında, ¹⁷⁷Lu verimini arttırmak ve ¹⁷⁰⁻¹⁷⁴Lu ve ^{169,175}Yb radyoizotoplarının neden olduğu kontaminasyonun çoğunu ortadan kaldırmak için yüksek saflıkta (oldukça zenginleştirilmiş) ¹⁷⁶Yb hedefleri kullanılması gerekliliğinin sonucuna varmışlardır (Hermanne et al., 2006). 2011 yılında Manenti ve arkadaşlarının yayımladığı bir başka çalışmada ise Milano Üniversitesinde bulunan bir siklotronda 18.18 MeV döteron gelme enerjisine kadar yine ¹⁷⁶Yb(d,n) reaksiyonunu incelemişlerdir (Manenti vd. 2011). Elde ettikleri bulgular, ¹⁷⁷Lu radyoizotopunun üretilmesinde yüksek saflıkta ¹⁷⁶Yb hedeflerinin kullanılmasının gerekliliğini doğrulamaktadırlar (Manenti vd. 2011). Ayrıca, bir parçacık hızlandırıcısı ile ¹⁷⁷Lu radyoizotopunun üretiminde istenmeyen kirlenici olan ^{177m}Lu radyoizotopundan kaçınma avantajına sahip olduğu belirtilmektedir (Hoedl ve Updegraff, 2015). Burada bahsi geçen ^{177m}Lu radyoizotopu

¹⁷⁷Lu'nun bir izomeri olup 160.44 günlük (Audi vd. 2012) bir yarılanma ömrüne sahiptir. Bu sebeple üretilen ¹⁷⁷Lu'nin konsantrasyonunda, ^{177m}Lu izomerinin olması istenmeyen bir radyoizotoptur. Çünkü hastaya verilen radyofarmasötik içeriğinde bu izomerin bulunması hastanın çok uzun süre ışınlanmasına ve alması gerekenden daha fazla radyasyon dozuna maruz kalmasına sebep olacaktır. Bu nedenle ¹⁷⁷Lu radyoizotopunun bir hızlandırıcıda üretilmesi, istenmeyen kirlenici olan ^{177m}Lu radyoizotopundan kaçınma adına önemli bir fırsat olacaktır.

¹⁷⁷Lu radyoizotopunun bir hızlandırıcıda direk üretilmesi için muhtemel reaksiyonların ele alındığı bu çalışmanın başlıca amacı, theranostik bir radyoizotop olan ¹⁷⁷Lu'nin alternatif üretimi için teorik verilerin literatüre kazandırılması ve uygun reaksiyonun teorik olarak belirlenmesidir. Bu amaç için ¹⁷⁴Yb(α,p), ¹⁷⁶Yb(d,n), ¹⁷⁶Yb(α,t), ¹⁷⁶Yb(t,2n), ¹⁷⁶Yb(h,d), ¹⁷⁶Lu(α,h), ¹⁷⁸Hf(p,2p), ¹⁷⁹Hf(p,h), ¹⁸⁰Hf(p,α) reaksiyonların uyarılma fonksiyonları (0.01 keV-100 MeV parçacık gelme enerji aralığında), reaksiyon verimleri ve ürün aktiviteleri TALYS 1.9 programı (Koning vd. 2017) kullanılarak hesaplanmıştır. Uyarılma fonksiyonları hesaplanırken bir denge öncesi nükleer reaksiyon modeli olan iki bileşenli eksiton model kullanılmıştır. Bu çalışmada ele alınan reaksiyonlardan ¹⁷⁶Yb(d,n) reaksiyonu dışında tüm reaksiyonlar TALYS 1.9 programı kullanılarak ilk kez hesaplanmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada ele alınan reaksiyonların uyarılma fonksiyonlarının hesaplanmasında kullanılan iki bileşenli eksiton model, eksiton modelinin yeni bir versiyonudur. Bu iki model arasındaki en önemli farklılık iki bileşenli eksiton modelde nötron ve proton eksiton sayılarının ayrılmış olmasıdır. Bu ayırım iki bileşenli formülleri beraberinde getirmektedir. Bu formülasyonların detaylarına (Blann 1972, Blann 1975, Dobeš ve Běták 1983, Gadioli ve Hodgson 1992, Gruppelaar vd. 1986, Gupta 1981, Koning vd. 2017) kaynaklarından ulaşılabilir. Bu modelde nükleonların denge öncesi spektrumu aşağıdaki ifade ile verilmektedir (Koning vd. 2017):

$$\frac{d\sigma_k^{PE}}{dE_k} = \sigma^{CF} \sum_{p_\pi = p_\pi^0}^{p_\pi^{\max}} \sum_{p_v = p_v^0}^{p_v^{\max}} W_k(p_\pi, h_\pi, p_v, h_v, E_k) \tau(p_\pi, h_\pi, p_v, h_v) P(p_\pi, h_\pi, p_v, h_v). \quad (1)$$

Burada p_π (p_v) proton (nötron) parçacık sayısını ve h_π (h_v) ise proton (nötron) boşluk sayısına karşı gelmektedir. Bunun yanısıra, $p_\pi^0 = Z_m$ ve $p_v^0 = N_m$ ilk proton ve nötron sayısı

olmakla beraber Z_m ve N_m ise sırasıyla merminin nötron ve proton sayısıdır. σ^{CF} ve W_k parametreleri ise sırasıyla, bileşik çekirdeğin formasyon tesir kesiti ve k. parçacık için E_k emisyon enerjisinde emisyon oranına karşılık gelmektedir. Aynı zamanda, τ eksiton durumunun ömrünü temsil ederken, P ise önceki durumun emisyonundan kalan ve mevcut durumdan (p_π, h_π, p_v, h_v) konfigürasyonuna geçen denge öncesi popülasyonuna sahip kısmı temsil etmektedir (Koning vd. 2017).

Bir nükleer reaksiyon ile üretilen bir i izotopunun aktivitesi t ışınlanma zamanının bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$A_i(t) = \lambda_i N_T(0) R_{T-i} t. \quad (2)$$

Burada $N_T(0)$, t=0 anında hedefteki T izotopunun sayısıdır. R_{T-i} ise hedefin boyutlarından daha küçük çapa sahip mermi ışınının tümü hedefe vurduğunda, T hedef izotopu ile gerçekleşen bir nükleer reaksiyonda i izotopunun üretilme hızı olup, (s^{-1}) biriminde aşağıdaki denklem ile verilmektedir (Koning vd. 2017):

$$R_{T-i} = \frac{I_{ışın}}{z_p q_e V_{tar}} \int_{E_{geri}}^{E_{ışın}} \left(\frac{dE}{dx} \right)^{-1} \sigma_i^{ip}(E) dE. \quad (3)$$

Burada $I_{ışın}$ ışın akımı, z_p ve q_e ise sırasıyla merminin yükü ve temel yükü temsil etmektedir. $I_{ışın}/z_p q_e$ faktörü birim zaman başına hedefe çarpan mermilerin sayısına karşılık gelir. V_{tar} terimi ise cm^3 biriminde aktif hedefin hacmidir. dE/dx terimi durdurma gücü olarak bilinir ve MeV/cm biriminde atomik çarpışmaların enerjisinin bir fonksiyonu olup, atomik çarpışmalarla hedef içinde mermilerin ortalama enerji kaybı olarak tanımlanır. TALYS programı içerisinde bu nicelik Bethe-Bloch formülü (Leo 1994) kullanılarak hesaplamalara dâhil edilmektedir. Ayrıca $\sigma_i^{ip}(E)$ ise artık üretim tesir kesitini (mb) temsil etmektedir (Koning vd. 2017). Son olarak, integral sınırları olan $E_{ışın}$ ve E_{geri} , sırasıyla, parçacık ışının gelme (olay-incident) enerjisi ve hedefin sonundaki enerji aralığının alt ucunu temsil etmektedir ve bu iki nicelik MeV birimindedir. Yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda bilinen bir aktivite için ışınlanma zamanı ve ışın akımı biliniirse reaksiyon verimi (MBq/mAh biriminde) belirlenebilir.

Yukarıda bahsi geçen reaksiyon gözlenebilirlerinin hesaplanması TALYS 1.9 bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir. TALYS programıyla bir reaksiyon gözlenebilirlerinin ve tüm reaksiyon kanallarının tam bir tanımlaması yapılabilmektedir (Koning vd. 2017). Bu program, Li çekirdeğinden Dy çekirdeğine kadar hedef çekirdekler üzerine 0.01 keV-1

GeV parçacık gelme enerji aralığında nükleer reaksiyonların benzetimi yapabilmektedir. Reaksiyonların benzetiminde mermi parçacık olarak proton (p), nötron (n), foton (γ), döteryum (d), triton (t), ³He (h) ve alfa (α) parçacıkları kullanılabilir (Koning vd. 2017).

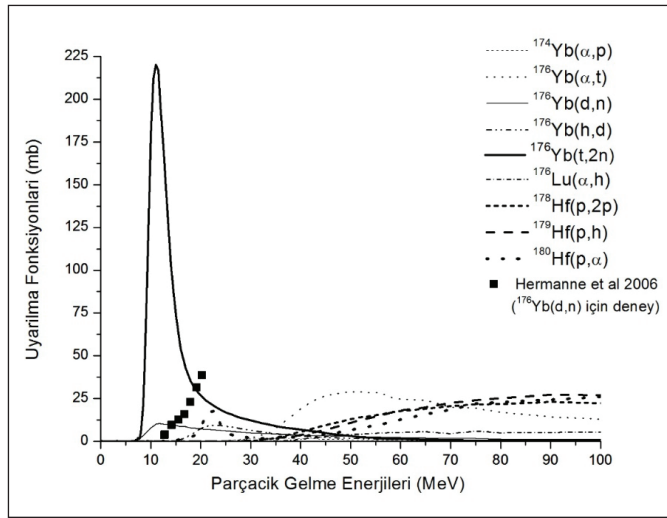
3. Bulgular

Bu çalışmada, ¹⁷⁷Lu radyoizotopunun bir hızlandırıcıda direk üretilmesi için 0.01 keV-100 MeV parçacık enerji aralığında muhtemel reaksiyonların iki bileşenli eksiton modeli kullanılarak hesaplanan uyarılma fonksiyonları Şekil 1 de sunulmuştur. Deneysel Nükleer Reaksiyon Verileri (EXFOR) kütüphanesinde (EXFOR 2019) ele alınan reaksiyonlardan sadece ¹⁷⁶Yb(d,n)¹⁷⁷Lu reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu için deneysel veriler bulunmaktadır. Bu sebeple, sadece bu reaksiyonun teorik sonuçlarıyla deney arasında kıyaslama yapılmıştır. ¹⁷⁶Yb(d,n) reaksiyonunun elde edilen uyarılma fonksiyonu ile deneysel değerler arasında sadece ~14 MeV parçacık enerjisinde bir uyum söz konusudur. Ayrıca bu enerjiden sonra deneysel değerler teorik değerlerden oldukça uzaklaşmaya başlamıştır. Literatürde ¹⁷⁶Yb(d,n) reaksiyonu için Manenti ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışma bulunmaktadır, ancak bu çalışmada ¹⁷⁷Lu üretiminde ¹⁷⁶Yb(d,p)¹⁷⁷Yb → ¹⁷⁷Lu ve ¹⁷⁶Yb(d,n)¹⁷⁷Lu reaksiyonlarının tesir kesitleri kümülatif olarak ölçülmüştür. Bu sebeple, bu deneysel veriler bu çalışmadaki ¹⁷⁶Yb(d,n) reaksiyonunun tesir kesiti değerleriyle karşılaştırmamıştır. Ayrıca ¹⁷⁶Yb(d,n)¹⁷⁷Lu reaksiyonunun uyarılma fonksiyonu için Kambali tarafından yapılan teorik çalışma (Kambali 2018) ile bu çalışmanın bulguları birbirleriyle uyumludurlar. Bunun yanı sıra, bu çalışmada ele alınan reaksiyonlar için elde edilen sonuçlara göre en yüksek uyarılma fonksiyonu ¹⁷⁶Yb(t,2n) reaksiyonu için elde edilmiştir. Bu reaksiyonun en yüksek tesir kesiti değeri, 11 MeV parçacık enerjisinde 220.28 mb olarak bulunmuştur. En küçük uyarılma fonksiyonu ise ¹⁷⁴Yb(α ,p) reaksiyonu için elde edilmiş olup bu reaksiyon için en yüksek tesir kesiti değeri 34 MeV parçacık enerjisinde, 1.74 mb olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan reaksiyonların ürün çekirdeğinin aktivitesi ve reaksiyon verimleri yine TALYS 1.9 programı kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 2 ve 3'de sunulmuştur. Her bir reaksiyonun benzetiminde mermi ışınının akımı 1 mA, hedef alanı 1 cm², hedefin ışınlanma süresi ve soğuma süresi 1 gün olarak seçilmiştir. Bu değerler aynı zamanda TALYS programında bu niceliklerin varsayılan değerlerdir (Koning vd. 2017). Yukarıda bahsedilen değerler kullanıldığında hedefte ışınlanma neden olduğu maksimum üretilen ısı ise

5 kW olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, reaksiyonların parçacık (mermi) enerjileri olarak her bir reaksiyonun hesaplanan uyarılma fonksiyonunda en yüksek tesir kesitine karşı gelen parçacık enerji değerleri alınmıştır. Bu verilere göre her bir reaksiyonun parçacık enerjileri ve bu enerjilere karşı gelen tesir kesiti değerleri, etkin hedef kalınlığı, maksimum aktivite, maksimum reaksiyon verimi Tablo 1'de sunulmuştur.

Hesaplanan ^{177}Lu radyoizotopunun ışınlanma zamanının bir fonksiyonu olarak aktivite değerleri içinde en yüksek



Şekil 1. ^{177}Lu radyoizotopunun üretimi için $^{174}\text{Yb}(\alpha,p)$, $^{176}\text{Yb}(d,n)$, $^{176}\text{Yb}(\alpha,t)$, $^{176}\text{Yb}(h,d)$, $^{176}\text{Yb}(t,2n)$, $^{176}\text{Lu}(\alpha,h)$, $^{178}\text{Hf}(p,2p)$, $^{179}\text{Hf}(p,h)$, $^{180}\text{Hf}(p,\alpha)$ reaksiyonlarının hesaplanan uyarılma fonksiyonları.

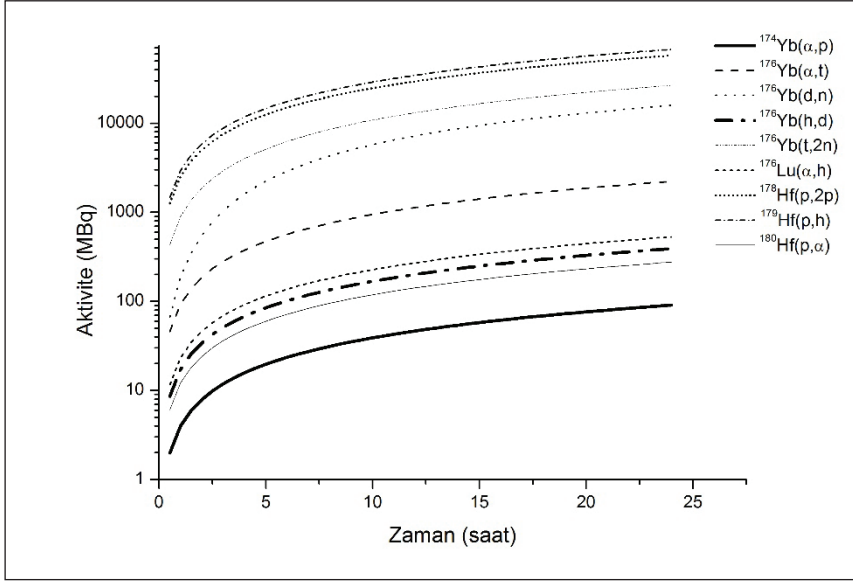
Çizelge 1. ^{177}Lu radyoizotopunun üretimi için elde edilen parçacık enerjileri, tesir kesiti, etkin hedef kalınlığı, maksimum aktivite ve maksimum reaksiyon verimi.

Reaksiyon	Parçacık Enerjisi (MeV)	Parçacık Enerjisine Karşı Gelen Tesir Kesiti (mb)	Etkin Hedef Kalınlığı (μm)	Maksimum Aktivite (MBq)	Maksimum Reaksiyon Verimi (MBq/mAh)
$^{174}\text{Yb}(\alpha,p)$	34	1.740	80	90.842	3.595
$^{176}\text{Yb}(d,n)$	11.5	10.260	220	15888.700	706.010
$^{176}\text{Yb}(\alpha,t)$	50	29.103	100	2228.890	88.985
$^{176}\text{Yb}(t,2n)$	11	220.282	170	26576.900	1092.800
$^{176}\text{Yb}(h,d)$	23	9.422	70	391.131	15.478
$^{176}\text{Lu}(\alpha,h)$	75	5.940	100	528.806	20.921
$^{178}\text{Hf}(p,2p)$	90	23.010	910	57658.100	2280.730
$^{179}\text{Hf}(p,h)$	90	27.326	910	67552.500	2673.250
$^{180}\text{Hf}(p,\alpha)$	23	17.694	150	2763.520	10.933

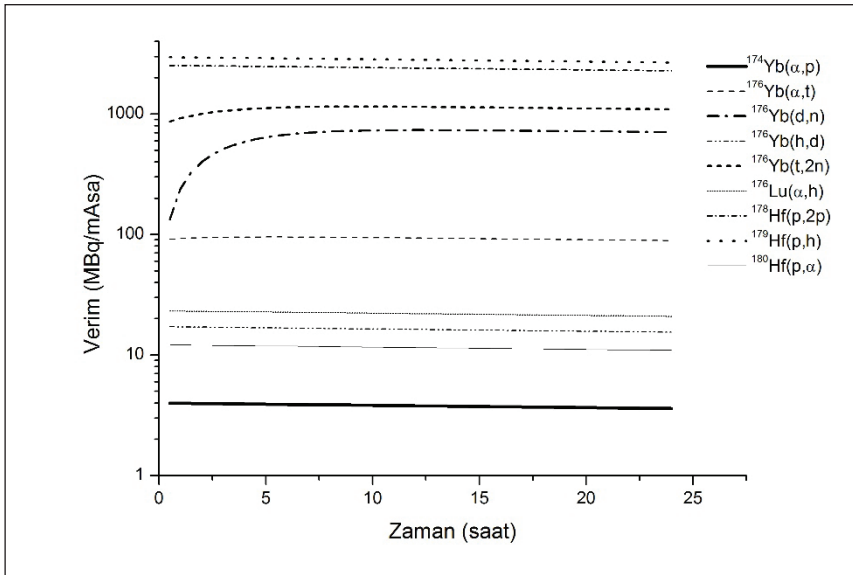
aktivite değeri $^{179}\text{Hf}(p,h)$ reaksiyonu için elde edilmiştir (Şekil 2). Bunun yanı sıra, elde edilen bu aktivite değerleri için, $^{179}\text{Hf}(p,h)$ reaksiyonunu sırasıyla $^{178}\text{Hf}(p,2p)$ ve $^{176}\text{Yb}(t,2n)$ reaksiyonu takip etmektedir. Ayrıca ışınlanma zamanının bir fonksiyonu olarak en düşük aktivite değeri ise $^{174}\text{Yb}(\alpha,p)$ reaksiyonu için elde edilmiştir (Şekil 2). Diğer taraftan, bu çalışmada ele alınan reaksiyonlar için elde edilen reaksiyon verimleri içerisinde verimi yüksek reaksiyonlar tıpkı aktivite sonuçlarında olduğu gibi sırasıyla $^{179}\text{Hf}(p,h)$, $^{178}\text{Hf}(p,2p)$ ve $^{176}\text{Yb}(t,2n)$ reaksiyonları iken, en düşük verime sahip reaksiyon ise yine $^{174}\text{Yb}(\alpha,p)$ reaksiyonudur (Şekil 3). Aktivite ve verim nicelikleri birbirleriyle orantılı olduğundan böyle bir sonucun elde edilmesi beklenen bir sonuçtur. Ayrıca bu çalışmada ele alınan reaksiyonların elde edilen en yüksek aktivite ve en yüksek verim değerleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

4. Tartışma

Theranostik radyoizotop olan ^{177}Lu radyoizotopunun bir hızlandırıcıda direk üretilmesi için muhtemel dokuz reaksiyonun incelendiği bu çalışmada, tesir kesiti olarak en iyi reaksiyon $^{176}\text{Yb}(t,2n)$ olduğu görülmektedir. Fakat en iyi reaksiyona karar vermek için ürün aktivitesi ve reaksiyon verimi gibi nicelikleri de göz önüne almak gerekmektedir. Ürün aktivitesi ve reaksiyon verimi açısından bakıldığında ise en yüksek değerler $^{178}\text{Hf}(p,2p)$ ve $^{179}\text{Hf}(p,h)$ reaksiyonları için elde edilmiştir. Fakat parçacık enerjileri 90 MeV olan bu reaksiyonlar için yüksek parçacık enerjilerinde reaksiyon veriminin yüksek olması beklenen bir sonuçtur. Bu bakımdan, ürün aktivitesi ve reaksiyon verimi yüksek olan



Şekil 2. $^{174}\text{Yb}(\alpha,p)$, $^{176}\text{Yb}(d,n)$, $^{176}\text{Yb}(\alpha,t)$, $^{176}\text{Yb}(h,d)$, $^{176}\text{Yb}(t,2n)$, $^{176}\text{Lu}(\alpha,h)$, $^{178}\text{Hf}(p,2p)$, $^{179}\text{Hf}(p,h)$, $^{180}\text{Hf}(p,\alpha)$ reaksiyonlarıyla üretilen ^{177}Lu radyoizotopunun ışınlanma zamanının fonksiyonu olarak aktivite değerleri.



Şekil 3. $^{174}\text{Yb}(\alpha,p)$, $^{176}\text{Yb}(d,n)$, $^{176}\text{Yb}(\alpha,t)$, $^{176}\text{Yb}(h,d)$, $^{176}\text{Yb}(t,2n)$, $^{176}\text{Lu}(\alpha,h)$, $^{178}\text{Hf}(p,2p)$, $^{179}\text{Hf}(p,h)$, $^{180}\text{Hf}(p,\alpha)$ reaksiyonlarıyla üretilen ^{177}Lu radyoizotopunun ışınlanma zamanının fonksiyonu olarak reaksiyon verimi değerleri.

üçüncü reaksiyon olan $^{176}\text{Yb}(t,2n)$ reaksiyonu hem düşük parçacık enerjisine (11 MeV) hem de yüksek tesir kesitine sahip olduğundan ^{177}Lu radyoizotopunun üretimi için bu reaksiyonun daha iyi bir reaksiyon olduğu söylenebilir. Bu parçacık enerjisi bir hızlandırıcıda parçacık demetinin elde edilmesi adına kolaylık sağlayabileceği gibi ekonomik olarak avantajlı olacaktır. Son olarak, bu çalışmanın sonuçları ^{177}Lu radyoizotopunun alternatif üretiminde kullanılacak reaksiyonların gelişmesi ve anlaşılabilmesi için kullanılabilir.

5. Kaynaklar

- Ahmadzadehfar, H., Eppard, E., Kurpig, S., Fimmers, R., Yordanova, A., Schlenkhoff, C.D., Gartner, F., Rogenhofer, S., Essler, M., 2016.** Therapeutic response and side effects of repeated radioligand therapy with ^{177}Lu -PSMA-DKFZ-617 of castrate-resistant metastatic prostate cancer. *Oncotarget*, 7: 12477–12488. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.7245>
- Artun, O., 2017a.** Estimation of the production of medical Ac-225 on thorium material via proton accelerator. *Appl. Radiat. Isot.*, 127: 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.06.006>
- Artun, O., 2017b.** Investigation of the Production of Cobalt-60 Via Particle Accelerator. *Nucl. Technol. Radiat. Prot.*, 32: 327–333. <https://doi.org/10.2298/NTRP1704327A>

- Artun, O., 2017c.** Investigation of the production of promethium-147 via particle accelerator. *Indian J. Phys.*, 91: 909–914. <https://doi.org/10.1007/s12648-017-0997-z>
- Artun, O., 2018.** Investigation of production of medical ⁸²Sr and ⁶⁸Ge for ⁸²Sr/⁸²Rb and ⁶⁸Ge/⁶⁸Ga generators via proton accelerator. *Nucl. Sci. Tech.*, 29: 1–11. <https://doi.org/10.1007/s41365-018-0474-1>
- Audi, G., Kondev, F. G., Wang, M., Pfeiffer, B., Blachot, J., Sun, X., MacCormick, M., 2012.** NUBASE2012 Evaluation of Nuclear Properties. *Nucl. Data Sheets*, 36: 1157–1286. <https://doi.org/10.1016/j.nds.2014.06.127>
- Audi, G., Wang, M., Wapstra, A. H., Kondev, F. G., MacCormick, M., Xu, X., 2014.** The 2012 Atomic Mass Evaluation and the Mass Tables. *Nucl. Data Sheets*, 120: 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.nds.2014.06.126>
- Baldık, R., Aytekin, H., Tel, E., 2013.** Equilibrium and pre-equilibrium calculations of cross-sections of (p, xn) reactions on ⁸⁹Y, ⁹⁰Zr and ⁹⁴Mo targets used for the production of ⁸⁹Zr, ⁹⁰Nb and ⁹⁴Tc positron-emitting radionuclides. *Pramana*, 80: 251–261. <https://doi.org/10.1007/s12043-012-0472-5>
- Baum, R. P., Kulkarni, H. R., Schuchardt, C., Singh, A., Wirtz, M., Wiessalla, S., Schottelius, M., Mueller, D., Klette, I., Wester, H. J., 2016.** ¹⁷⁷Lu-Labeled Prostate-Specific Membrane Antigen Radioligand Therapy of Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer: Safety and Efficacy. *J. Nucl. Med.*, 57: 1006–1013. <https://doi.org/10.2967/jnumed.115.168443>
- Blann, M., 1972.** Importance of the Nuclear Density Distribution on Pre-equilibrium Decay. *Phys. Rev. Lett.*, 28: 757–759. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.28.757>
- Blann, M., 1975.** Preequilibrium Decay. *Ann. Rev. Nucl. Sci.*, 25:123–166. <https://doi.org/10.1146/annurev.ns.25.120175.001011>
- Das, T., Banerjee, S., 2016.** Theranostic applications of lutetium-177 in radionuclide therapy. *Curr. Radiopharm.*, 9: 94–101. <https://doi.org/10.2174/1874471008666150313114644>
- Delker, A., Fendler, W. P., Kratochwil, C., Brunegrab, A., Gosewisch, A., Gildehaus, F. J., Tritschler, S., Stief, C. G., Kopka, K., Haberkorn, U., Bartenstein, P., Böning, G., 2016.** Dosimetry for ¹⁷⁷Lu-DKFZ-PSMA-617: a new radiopharmaceutical for the treatment of metastatic prostate cancer. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, 43: 42–51. <https://doi.org/10.1007/s00259-015-3174-7>
- Dobeš, J., Běták, E., 1983.** Two-component exciton model. *Zeitschrift für Phys. A Atoms Nucl.*, 310: 329–338. <https://doi.org/10.1007/BF01419519>
- Emmett, L., Willowson, K., Violet, J., Shin, J., Blanksby, A., Lee, J., 2017.** Lutetium ¹⁷⁷PSMA radionuclide therapy for men with prostate cancer: a review of the current literature and discussion of practical aspects of therapy. *J. Med. Radiat. Sci.*, 64: 52–60. <https://doi.org/10.1002/jmrs.227>
- EXFOR/CSISRS (Experimental Nuclear Reaction Data File) 2019.** <https://www.nndc.bnl.gov/exfor/>
- Firestone, R.B., 1999.** Table of Isotopes, 8th ed. Wiley, New York, USA, 224 pp.
- Gadioli, E. Hodgson, P. E., 1992.** Pre-equilibrium Nuclear Reactions, Clarendon Press, University of Oxford, UK, 530 pp.
- Gruppelaar, H., Nagel, P., Hodgson, P. E., 1986.** Pre-equilibrium processes in nuclear reaction theory: the state of the art and beyond. *La Riv. Del Nuovo Cim. Ser.*, 9(7):, 1–46. <https://doi.org/10.1007/BF02725961>
- Gupta, S.K., 1981.** Two-Component Equilibration in the Exciton Model of nuclear Reactions. *Z. Phys. A Atom. Nucl.*, 303(4): 329–303. <https://doi.org/10.1007/BF01421531>
- Hermanne, A., Takacs, S., Goldberg, M. B., Lavie, E., Shubin, Y. N., Kovalev, S., 2006.** Deuteron-induced reactions on Yb: Measured cross sections and rationale for production pathways of carrier-free, medically relevant radionuclides. *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, 247: 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2006.03.008>
- Hoedl, S. A., Updegraff, W. D., 2015.** The production of medical isotopes without nuclear reactors or uranium enrichment. *Sci. Glob. Secur.*, 23: 121–153. <https://doi.org/10.1080/08929882.2015.1037123>
- Kambali, I., 2018.** Production of Lu-177 Radionuclide using Deuteron Beams: Comparison between (d,n) and (d,p) Nuclear Reactions, in: *Journal of Physics: Conference Series.*, 1120: 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1120/1/012011>
- Kaplan, A., Aydin, A., Tel, E., Şarer, B., 2009.** Equilibrium and pre-equilibrium emissions in proton-induced reactions on ²⁰³Tl, ²⁰⁵Tl. *Pramana - J. Phys.*, 72: 343–353. <https://doi.org/10.1007/s12043-009-0030-y>
- Koning, A., Hilaire, S., Goriely, S., 2017.** Talys-1.9 Code User Manual, 456 pp.
- Kratochwil, C., Giesel, F. L., Eder, M., Afshar-Oromieh, A., Benešová, M., Mier, W., Kopka, K., Haberkorn, U., 2015.** [¹⁷⁷Lu]Lutetium-labelled PSMA ligand-induced remission in a patient with metastatic prostate cancer. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, 42: 987–988. <https://doi.org/10.1007/s00259-014-2978-1>
- Leo, W. R., 1994.** Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. Springer Verlag, Berlin, Germany, 378 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-57920-2>

- Manenti, S., Groppi, F., Gandini, A., Gini, L., Abbas, K., Holzwarth, U., Simonelli, F., Bonardi, M., 2011.** Excitation function for deuteron induced nuclear reactions on natural ytterbium for production of high specific activity ¹⁷⁷Lu in no-carrier-added form for metabolic radiotherapy. *Appl. Radiat. Isot.*, 69: 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2010.08.008>
- Pillai, M. R. A., Chakraborty, S., Das, T., Venkatesh, M., Ramamoorthy, N., 2003.** Production logistics of ¹⁷⁷Lu for radionuclide therapy. *Appl. Radiat. Isot.*, 59: 109–118. [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(03\)00158-1](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(03)00158-1)
- Srivastava, S. C., Mausner, L. F., 2013.** Therapeutic Nuclear Medicine, in: Baum, R. (Ed.), Therapeutic Nuclear Medicine. *Springer Verlag*, Berlin, Germany, pp. 11–50. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-36719-2>
- Tagawa, S. T., Milowsky, M. I., Morris, M., Vallabhajosula, S., Christos, P., Akhtar, N. H., Osborne, J., Goldsmith, S. J., Larson, S., Taskar, N. P., Scher, H. I., Bander, N. H., Nanus, D. M., 2013.** Phase II study of lutetium-177-labeled anti-prostate-specific membrane antigen monoclonal antibody J591 for metastatic castration-resistant prostate cancer. *Clin. Cancer Res.* 19: 5182–5191. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-13-0231>



f -Asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -Equivalence for Double Set Sequences

Küme Dizilerinin f -Asimptotik $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -Denkliği

Erdoğan Dündar^{1*} , Nimet Pancaroğlu Akin² 

¹Afyon Kocatepe University, Science and Arts Faculty, Department of Mathematics, Afyonkarahisar, Turkey

²Afyon Kocatepe University, Education Faculty, Department of Mathematics and Science Education, Afyonkarahisar, Turkey

Abstract

Recently, Pancaroğlu Akin et al. (2018) defined and studied f -asymptotically $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ -statistical equivalence for sequences of sets. In this paper, firstly, we denote the notions of strongly asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -equivalence, f -asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -equivalence, strongly f -asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -equivalence for double set sequences. Secondly, we investigate some relationships and important properties among these new notions. Then, we denoted asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -statistical equivalence for double set sequences. Also, we examine inclusion and necessity relations between them.

Keywords: Asymptotic equivalence, Lacunary invariant convergence, Modulus function, \mathcal{J}_2 -convergence, Wijsman convergence

Öz

Son zamanlarda, Pancaroğlu Akin vd. (2018) küme dizileri için f -asimptotik $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ -istatistiksel denkliğini tanımladılar ve çalıştılar. Bu makalede öncelikli olarak, çift küme dizileri için kuvvetli asimptotik $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -denkliği, f -asimptotik $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -denkliği, kuvvetli f -asimptotik $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -denkliği tanımları verildi. İkinci olarak, bu kavramların bazı önemli özellikleri ve arasındaki ilişkiler araştırıldı. Daha sonra, çift küme dizilerinde asimptotik $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -istatistiksel denklik kavramı tanımlandı. Ayrıca, bu kavramlar arasındaki kapsama ve gerektirme incelendi.

Anahtar Kelimeler: Asimptotik denklik, Lacunary invariant yakınsaklık, Modülüs fonksiyonu, \mathcal{J}_2 -yakınsaklık, Wijsman yakınsaklık

1. Introduction

Many mathematicians studied statistical convergence which is a generalization of usual convergence and ideal convergence which is a generalization of statistical convergence of real numbers. Statistical convergence was firstly introduced by Fast (1951) and Schoenberg (1959), separately and some authors researched these concepts in metric spaces and normed spaces. Recent times, statistical convergence was extended to the double sequences by Mursaleen and Edely (2003). Kostyrko et al. (2000) introduced and examined \mathcal{J} -convergence which is a generalization of statistical convergence of real numbers. Das et al. (2008) denoted the notion of ideal convergence of double sequence and examined some properties of this concept. The notion of statistical convergence of sequences of set was defined by Nuray and Rhoades (2012). Also, they


examined some important properties of this concept. After that, some authors expanded the convergence of the real number sequences to the convergence of set sequences and examined the summability feature.

The notion of invariant convergence have analyzed some authors (Nuray and Savaş 1994, Pancaroğlu and Nuray 2013, 2014, 2015, Raimi 1963, Savaş and Nuray 1993, Schafer 1972, Ulusu et al. 2018). Nuray et al. (2011) denoted the notions of invariant uniform density of subsets E of \mathbb{N} , ideal invariant convergence and examined inclusion and necessity relations among ideal invariant convergence, invariant convergence and p -strongly invariant convergence. Recently, ideal invariant convergence for double set sequences introduced by Tortop and Dündar (2018) and Wijsman $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -convergence for double set sequences denoted by Dündar and Pancaroğlu Akin (2020).

The notion of asymptotically equivalence and some important properties of this notion investigated by some mathematicians (Dündar et al. 2020, Kişi et al. 2015, Savaş 2013, Ulusu and

*Corresponding Author: edundar@aku.edu.tr

Erdoğan Dündar  orcid.org/0000-0002-0545-7486

Nimet Pancaroğlu Akin  orcid.org/0000-0003-2886-3679

Gülle 2019). Recently, the notion of asymptotically ideal invariant equivalence of set sequences introduced by Ulusu and Gülle (2019). Also, the notion of asymptotically \mathcal{J}_2^{σ} -equivalence of double sequences studied by Dündar et al. (2020).

Some authors applying a modulus function f , denote some new notions and give implication theorems (Kişi et al. 2015, Maddox 1986, Nakano 1953, Pancaroğlu and Nuray 2015, Pehlivan and Fisher 1995). The notion of lacunary f -ideal equivalent sequences was denoted by Kumar and Sharma (2012). The concept of f -asymptotically lacunary ideal equivalence of set sequences was introduced by Kişi et al. (2015). The notions of f -asymptotically ideal invariant and lacunary ideal invariant statistical equivalence of set sequences were given Pancaroğlu Akın and Dündar (2018) and Pancaroğlu Akın et al. (2018). Dündar and Pancaroğlu Akın (2019) studied f -asymptotically \mathcal{J}_2^{σ} -equivalence for double sequences of sets.

We now note some of the basic definitions and concepts we use throughout the article (see, Baronti and Papini 1986, Beer 1985, 1994, Das et al. 2008, Kişi et al. 2015, Kostyrko et al. 2000, Kumar and Sharma 2012, Maddox 1993, Marouf 1993, Nuray et al. 2011, Pancaroğlu Akın et al. 2018, Raimi 1963, Schaefer 1972, Tortop and Dündar 2018, Ulusu and Nuray 2016).

Let $u = (u_k)$ and $v = (v_k)$ be non-negative sequences. If $\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{u_k}{v_k} = 1$, then $u = (u_k)$ and $v = (v_k)$ are told to be asymptotically equivalent (showed by $u \sim v$).

Let (Y, ρ) be a metric space, $y \in Y$ and any non-empty subset C of Y , then we define the way from y to C by $d(y, C) = \inf_{c \in C} \rho(y, c)$.

Later, we let (Y, ρ) be a metric space and C, D, C_k and $D_k (k = 1, 2, \dots)$ be non-empty closed subsets of Y .

A sequence $\{C_k\}$ is Wijsman convergent to C if $\lim_{k \rightarrow \infty} d(y, C_k) = d(y, C)$ for every $y \in Y$. In this instance, it is showed by $W - \lim_{k \rightarrow \infty} C_k = C$.

If $\sup_k d(y, C_k) < \infty$ for each $y \in Y$, then $\{C_k\}$ is said to be bounded. We show the space of all bounded sequences of sets by L_{∞} .

Let $C_k, D_k \subseteq Y$ such that $d(y, C_k) > 0$ and $d(y, D_k) > 0$ for all $y \in Y$. The sequences $\{C_k\}$ and $\{D_k\}$ are asymptotically equivalent if for all $y \in Y, \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{d(y, C_k)}{d(y, D_k)} = 1$ (denoted by $C_k \sim D_k$).

Let $C_k, D_k \subseteq Y$ such that $d(y, C_k) > 0$ and $d(y, D_k) > 0$ for each $y \in Y$. If for all $\varepsilon > 0$ and all $y \in Y, \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \left| \left\{ k \leq n : \left| \frac{d(y, C_k)}{d(y, D_k)} - L \right| \geq \varepsilon \right\} \right| = 0$, then $\{C_k\}$ and $\{D_k\}$ are asymptotically statistical equivalent of multiple L (showed by $C_k \stackrel{WS_L}{\sim} D_k$) and if $L = 1$, then $\{C_k\}$ and $\{D_k\}$ are asymptotically statistical equivalent.

Let $\sigma: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}$ be a mapping and ϕ be a continuous linear functional on the space of real bounded sequences ℓ_{∞} . ϕ is an invariant mean or a σ -mean, if the belowing terms hold:

1. $\phi(u) \geq 0$, when the sequence $u = (u_n)$ has $u_n \geq 0$, for all n ,
2. $\phi(e) = 1$, where $e = (1, 1, 1, \dots)$,
3. $\phi(u_{\sigma(n)}) = \phi(u)$, for all $u \in \ell_{\infty}$.

Suppose that the mappings σ are injective and such that $\sigma^m(j) \neq j$, for all $j, m \in \mathbb{N}$, where $\sigma^m(j)$ is the m th iterate of σ at j . Therefore, for all $u \in c \phi(u)$ equals to $\lim u$ which is the extension of the limit functional on c , where $c = \{x = (x_k) : \lim_k x_k \text{ exists}\}$.

If the equality $\sigma(j) = j + 1$ exists, then σ -mean is named a Banach limit, generally.

Now, we give the definition of ideal. $\mathcal{J} \subseteq 2^{\mathbb{N}}$ is named an ideal, if the bellowings provide:

- (i) $\phi \in \mathcal{J}$, (ii) For all $E, F \in \mathcal{J}$ we have $E \cup F \in \mathcal{J}$, (iii) For every $E \in \mathcal{J}$ and all $F \subseteq E$ we have $F \in \mathcal{J}$.

Let $\mathcal{J} \subseteq 2^{\mathbb{N}}$ be an ideal. $\mathcal{J} \subseteq 2^{\mathbb{N}}$ is named non-trivial provided that $\mathbb{N} \notin \mathcal{J}$. For a non-trivial ideal \mathcal{J} and for each $n \in \mathbb{N}$ provided that $\{n\} \in \mathcal{J}$, then \mathcal{J} is admissible ideal. Later, we think about that \mathcal{J} is an admissible ideal.

For a nontrivial ideal \mathcal{J}_2 of $\mathbb{N} \times \mathbb{N}$ if $\{i\} \times \mathbb{N}$ and $\mathbb{N} \times \{i\}$ pertain to \mathcal{J}_2 for each $i \in \mathbb{N}$, then \mathcal{J}_2 is strongly admissible ideal. Later, we take \mathcal{J}_2 as a strongly admissible ideal.

If we take an ideal as a strongly admissible ideal, then it is obvious that the ideal we receive is a admissible ideal.

Let $C \subseteq \mathbb{N} \times \mathbb{N}$ and

$$s_{mk} = \min_{i,j} |C \cap \{(\sigma(i), \sigma(j)), (\sigma^2(i), \sigma^2(j)), \dots, (\sigma^m(i), \sigma^k(j))\}|$$

and

$$S_{mk} = \max_{i,j} |C \cap \{(\sigma(i), \sigma(j)), (\sigma^2(i), \sigma^2(j)), \dots, (\sigma^m(i), \sigma^k(j))\}|$$

If the limits $\underline{V}_2(C) := \lim_{m,k \rightarrow \infty} \frac{s_{mk}}{mk}$ and $\overline{V}_2(C) := \lim_{m,k \rightarrow \infty} \frac{S_{mk}}{mk}$ exists then $\underline{V}_2(C)$ is named a lower and $\overline{V}_2(C)$ is named

an upper σ -uniform density of the set C , in order of. If $\underline{V}_2(C) = \overline{V}_2(C)$, then $V_2(C) = \underline{V}_2(C) = \overline{V}_2(C)$ is named the σ -uniform density of C . Show by \mathcal{J}_2^σ the taxon of all $C \subseteq \mathbb{N} \times \mathbb{N}$ with $V_2(C) = 0$.

Later, we let C_{ij}, D_{ij}, C, D be any nonempty closed subsets of Y .

If for every $y \in Y$,

$$\lim_{m,k \rightarrow \infty} \frac{1}{mk} \sum_{i,j=1,1}^{m,k} d(y, C_{\sigma^i(s), \sigma^j(t)}) = d(y, C),$$

uniformly in then, is told to be invariant convergent to in.

If for each $\varphi > 0$,

$$A(\varphi, y) = \{(i, j) : |d(y, C_{ij}) - d(y, C)| \geq \varphi\}$$

belongs to \mathcal{J}_2^σ that is, $V_2(A(\varphi, y)) = 0$ then, $\{C_{ij}\}$ is told to be Wijsman \mathcal{J}_2^σ -convergent or $\mathcal{J}_{W_2}^\sigma$ -convergent to C . In the present case, we write $C_{ij} \rightarrow C(\mathcal{J}_{W_2}^\sigma)$ and by $\mathcal{J}_{W_2}^\sigma$ we show the set of all Wijsman \mathcal{J}_2^σ -convergence of double set sequences.

For C_{ij}, D_{ij} are be non-empty closed subsets of Y define as $d(y; C_{ij} \cup D_{ij})$ follows:

$$d(y; C_{ij}, D_{ij}) = \begin{cases} d(y, C_{ij}), & y \notin C_{ij} \cup D_{ij} \\ L, & y \in C_{ij} \cup D_{ij}. \end{cases}$$

If for each $\varphi > 0$ and every $y \in Y$

$$\left\{ (m, k) : \in \mathbb{N} \times \mathbb{N} : \frac{1}{mk} \sum_{i,j=1,1}^{m,k} |d(y; C_{ij}, D_{ij}) - L| \geq \varphi \right\}$$

belongs to \mathcal{J}_2^σ then, double sequences $\{C_{ij}\}$ and $\{D_{ij}\}$ are told to be strongly asymptotically \mathcal{J}_2^σ -equivalent of multiple L (showed by $C_{ij} \stackrel{[W_{\mathcal{J}_2}^\sigma]}{\sim} D_{ij}$) and if $L = 1$, then $\{C_{ij}\}$ and $\{D_{ij}\}$ are said to be strongly asymptotically \mathcal{J}_2^σ -equivalent.

Let $f: [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ be a function. If bellowing terms hold for f then, it is named a modulus function:

1. $f(t) = 0 \Leftrightarrow t = 0$,
2. $f(t+s) \leq f(t) + f(s)$,
3. f is increasing,
4. f is continuous from the right at 0.

Later, we take f as a modulus function.

f may be unbounded (for instance $f(t) = t^q, 0 < q < 1$) or bounded (for instance $f(t) = \frac{t}{t+1}$).

If for each $\varphi > 0$ and for each

$$y \in Y, \{(i, j) \in \mathbb{N} \times \mathbb{N} : f(|d(y; C_{ij}, D_{ij}) - L|) \geq \varphi\} \in \mathcal{J}_2^\sigma,$$

then the double sequences $\{C_{ij}\}$ and $\{D_{ij}\}$ are told to be f -asymptotically \mathcal{J}_2^σ -equivalent of multiple L (showed by $C_{ij} \stackrel{[W_{\mathcal{J}_2}^\sigma(f)}{\sim} D_{ij}$) and if $L = 1$, then $\{C_{ij}\}$ and $\{D_{ij}\}$ are told to be f -asymptotically \mathcal{J}_2^σ -equivalent.

If for every $\varphi > 0$ and for every $y \in Y$,

$$\left\{ (m, k) \in \mathbb{N} \times \mathbb{N} : \frac{1}{mk} \sum_{i,j=1,1}^{m,k} f(|d(y; C_{ij}, D_{ij}) - L|) \geq \varphi \right\} \in \mathcal{J}_2^\sigma$$

then, $\{C_{ij}\}$ and $\{D_{ij}\}$ are told to be strongly f -asymptotically \mathcal{J}_2^σ -equivalent of multiple L (showed by $C_{ij} \stackrel{[W_{\mathcal{J}_2}^\sigma(f)}{\sim} D_{ij}$) and if $L = 1$, then $\{C_{ij}\}$ and $\{D_{ij}\}$ are told to be strongly f -asymptotically \mathcal{J}_2^σ -equivalent.

If for every $\varphi > 0, \delta > 0$ and all $x \in X$,

$$\left\{ (m, k) \in \mathbb{N} \times \mathbb{N} : \frac{1}{mk} |\{i \leq m, j \leq k : |d(y; C_{ij}, D_{ij}) - L| \geq \delta\}| \geq \varphi \right\} \in \mathcal{J}_2^\sigma,$$

then $\{C_{ij}\}$ and $\{D_{ij}\}$ are told to be asymptotically \mathcal{J}_2^σ -statistical equivalent of multiple L (showed by $C_{ij} \stackrel{[W_{\mathcal{J}_2}^\sigma(s)}{\sim} D_{ij}$) and if $L = 1$, then asymptotically \mathcal{J}_2^σ -statistical equivalent.

A double sequence $\theta_2 = \{(k_r, j_u)\}$ is named double lacunary sequence if there exist two increasing sequence of integers such that

$$k_0 = 0, h_r = k_r - k_{r-1} \rightarrow \infty \text{ and } j_0 = 0, \bar{h}_u = j_u - j_{u-1} \rightarrow \infty, \text{ as } r, u \rightarrow \infty.$$

We use the following notations afterwards:

$$k_{ru} = k_r j_u, h_{ru} = h_r \bar{h}_u, I_{ru} = \left\{ (k, j) : k_{r-1} < k < k_r \right. \\ \left. \text{and } j_{u-1} < j < j_u \right\}.$$

After this, we take $\theta_2 = \{(k_r, j_u)\}$ as a double lacunary sequence.

Let $\theta_2 = \{(k_r, j_u)\}$ be a double lacunary sequence, $C \subseteq \mathbb{N} \times \mathbb{N}$ and

$$s_{ru} = \min_{m,n} |C \cap \{(\sigma^k(m), \sigma^j(n)) : (k, j) \in I_{ru}\}|$$

and

$$S_{ru} = \max_{m,n} |C \cap \{(\sigma^k(m), \sigma^j(n)) : (k, j) \in I_{ru}\}|.$$

If the limits $\underline{V}_2^\theta(C) := \lim_{r,u \rightarrow \infty} \frac{S_{ru}}{h_{ru}}$ and $\overline{V}_2^\theta(C) := \lim_{r,u \rightarrow \infty} \frac{s_{ru}}{h_{ru}}$ consist, then those are named a lower lacunary σ -uniform density and an upper lacunary σ -uniform density of the set C , in order of. Provided that $\underline{V}_2^\theta(C) = \overline{V}_2^\theta(C)$, then $V_2^\theta(C) = \underline{V}_2^\theta(C) = \overline{V}_2^\theta(C)$ is named the lacunary σ -uniform density of C . Show by $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ the class of all $C \subseteq \mathbb{N} \times \mathbb{N}$ with $V_2^\theta(C) = 0$.

Later, we take $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ as a strongly admissible ideal in $\mathbb{N} \times \mathbb{N}$.

Lemma 1 (Pehlivan and Fisher 1995). Let f be a modulus and $0 < \delta < 1$. Then, for each $u \geq \varphi$ we have $f(t) \leq 2f(1)\varphi^{-1}t$.

2. f -Asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -Equivalence of Double Sequences of Sets

Definition 2.1. If for each $\varphi > 0$ and every $y \in Y$, $\left\{ (r, u) \in \mathbb{N} \times \mathbb{N} : \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} |d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L| \geq \varphi \right\} \in \mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$,

then the double sequences $\{C_{kj}\}$ and $\{D_{kj}\}$ are told to be strongly asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -equivalent of multiple L (showed by $C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}}]}{\sim} D_{kj}$) and if $L = 1$, then $\{C_{kj}\}$ and $\{D_{kj}\}$ are said to be strongly asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -equivalent.

Definition 2.2. If for each $\varphi > 0$ and every $y \in Y$,

$$\{(k, j) \in I_{ru} : f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \geq \varphi\} \in \mathcal{J}_2^{\sigma\theta},$$

then the double sequences $\{C_{kj}\}$ and $\{D_{kj}\}$ are told to be f -asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -equivalent of multiple L (showed by $C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(f)}]}{\sim} D_{kj}$) and if $L = 1$, then $\{C_{kj}\}$ and are told to be f -asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -equivalent.

Definition 2.3. If for each $\varphi > 0$ and every $y \in Y$,

$$\left\{ (r, u) \in \mathbb{N} \times \mathbb{N} : \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \geq \varphi \right\} \in \mathcal{J}_2^{\sigma\theta},$$

then the double sequences $\{C_{kj}\}$ and $\{D_{kj}\}$ are told to be strongly f -asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -equivalent of multiple L showed by $C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(f)}]}{\sim} D_{kj}$ and if $L = 1$, then $\{C_{kj}\}$ and $\{D_{kj}\}$ are told to be strongly f -asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -equivalent.

Theorem 2.1. For each $y \in Y$, we have

$$C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}}]}{\sim} D_{kj} \Rightarrow C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(f)}]}{\sim} D_{kj}.$$

Proof. Let $C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}}]}{\sim} D_{kj}$ and $\varphi > 0$. Select $0 < \delta < 1$ such that $f(z) < \varphi$ for $0 \leq z \leq \delta$. Then, for each $y \in Y$, we can write

$$\begin{aligned} & \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \\ &= \frac{1}{h_{ru}} \sum_{\substack{(k,j) \in I_{ru} \\ |d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L| \leq \delta}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \\ &+ \frac{1}{h_{ru}} \sum_{\substack{(k,j) \in I_{ru} \\ |d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L| > \delta}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \end{aligned}$$

and so by Lemma 1

$$\begin{aligned} & \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \\ &< \gamma + \left(\frac{2f(1)}{\delta}\right) \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} |d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|. \end{aligned}$$

Thus, for every any $\varepsilon > 0$ and every $y \in Y$

$$\begin{aligned} & \left\{ (r, u) \in \mathbb{N} \times \mathbb{N} : \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \geq \varepsilon \right\} \\ & \subseteq \left\{ (r, u) \in \mathbb{N} \times \mathbb{N} : \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \geq \frac{(\varepsilon - \gamma)\delta}{2f(1)} \right\}. \end{aligned}$$

Since $C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}}]}{\sim} D_{kj}$ then, it is clear that the latter set pertains to

$\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ and thus, the first set pertains to $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$. This proves that $C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(f)}]}{\sim} D_{kj}$.

Theorem 2.2. If $\lim_{z \rightarrow \infty} \frac{f(z)}{z} = \alpha > 0$, then

$$C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}}]}{\sim} D_{kj} \Leftrightarrow C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(f)}]}{\sim} D_{kj}.$$

Proof. If $\lim_{z \rightarrow \infty} \frac{f(z)}{z} = \alpha > 0$, then we get $f(z) \geq \alpha z$ for every $z \geq 0$. Assume that $C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(f)}]}{\sim} D_{kj}$. Since for each $y \in Y$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \\ & \geq \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} \alpha (|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \\ & = \alpha \left(\frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} |d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L| \right), \end{aligned}$$

then, for every $\varepsilon > 0$, we get

$$\begin{aligned} & \left\{ (r, u) \in \mathbb{N} \times \mathbb{N} : \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} |d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L| \geq \varepsilon \right\} \\ & \subseteq \left\{ (r, u) \in \mathbb{N} \times \mathbb{N} : \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \geq \alpha \varepsilon \right\}, \end{aligned}$$

for each $y \in Y$. Since $C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(f)}]}{\sim} D_{kj}$, it is clear that the latter set pertains to $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ and thus, the first set pertains to $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$. This proves that

$$C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}}]}{\sim} D_{kj} \Leftrightarrow C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(f)}]}{\sim} D_{kj}.$$

Definition 2.4. If for each $\varepsilon > 0$, each $\varphi > 0$ and every $y \in Y$,

$$\left\{ (r, u) \in \mathbb{N} \times \mathbb{N} : \frac{1}{h_{ru}} \left| \{(k, j) \in I_{ru} : |d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L| \geq \varepsilon\} \right| \geq \varphi \right\} \in \mathcal{J}_2^{\sigma\theta},$$

then the sequences $\{C_{kj}\}$ and $\{D_{kj}\}$ are told to be asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -statistical equivalent of multiple L (showed by $C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(S)}]}{\sim} D_{kj}$) and if $L = 1$, then $\{C_{kj}\}$ and $\{D_{kj}\}$ are told to be asymptotically $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ -statistical equivalent.

Theorem 2.3. For each $y \in Y$, we have

$$C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(f)}]}{\sim} D_{kj} \Rightarrow C_{kj} \stackrel{[w_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(S)}]}{\sim} D_{kj}$$

Proof. Assume that $C_{kj} \stackrel{[W_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}}(f)]}{\sim} D_{kj}$ and $\varepsilon > 0$ be given. As for every $x \in X$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \\ & \geq \frac{1}{h_{ru}} \sum_{\substack{(k,j) \in I_{ru} \\ |d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L| \geq \varepsilon}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \\ & \geq f(\varepsilon) \cdot \frac{1}{h_{ru}} |\{(k,j) \in I_{ru}; |d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L| \geq \varepsilon\}|, \end{aligned}$$

it bellows that for any $\varphi > 0$ and every $y \in Y$,

$$\begin{aligned} & \left\{ (r, u) \in \mathbb{N} \times \mathbb{N}; \frac{1}{h_{ru}} |\{(k,j) \in I_{ru}; |d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L| \right. \\ & \quad \left. \geq \varepsilon\}| \geq \frac{\gamma}{f(\varepsilon)} \right\} \\ & \subseteq \left\{ (r, u) \in \mathbb{N} \times \mathbb{N}; \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \geq \gamma \right\}. \end{aligned}$$

Since $C_{kj} \stackrel{[W_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}}(f)]}{\sim} D_{kj}$, then the latter set pertains to $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$. Then, by the definition of an ideal, the first set pertains to $\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}$ and so, $C_{kj} \stackrel{[W_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(S)}]}{\sim} D_{kj}$.

Theorem 2.4. If f is bounded, then for every

$$y \in Y, C_{kj} \stackrel{[W_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}}(f)]}{\sim} D_{kj} \Leftrightarrow C_{kj} \stackrel{W_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(S)}}{\sim} D_{kj}.$$

Proof. Assume that f is bounded and let $C_{kj} \stackrel{W_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}(S)}}{\sim} D_{kj}$. Since f is bounded there exists a $K > 0$ such that $|f(y)| \leq K$ for every $y \geq 0$. Further using fact, we get

$$\begin{aligned} & \frac{1}{h_{ru}} \sum_{(k,j) \in I_{ru}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \\ & = \frac{1}{h_{ru}} \sum_{\substack{(k,j) \in I_{ru} \\ |d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L| \geq \varepsilon}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \\ & \quad + \frac{1}{h_{ru}} \sum_{\substack{(k,j) \in I_{ru} \\ |d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L| < \varepsilon}} f(|d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L|) \\ & \leq \frac{K}{h_{ru}} |\{(k,j) \in I_{ru}; |d(y; C_{kj}, D_{kj}) - L| \geq \varepsilon\}| + f(\varepsilon), \end{aligned}$$

for each $y \in Y$. This proves that $C_{kj} \stackrel{[W_{\mathcal{J}_2^{\sigma\theta}}(f)]}{\sim} D_{kj}$.

3. References

Baronti, M., Papini, P. 1986. Convergence of sequences of sets, In: Methods of Functional Analysis in Approximation Theory. Birkhäuser, Basel, pp. 133-155.

Beer, G. 1985. On convergence of closed sets in a metric space and distance functions. *Bull. Aust. Math. Soc.*, 31: 421-432.

Beer, G. 1994. Wijsman convergence: A survey. *Set-Valued Anal.*, 2(1-2): 77-94.

Das, P, Kostyrko, P, Wilczyński, W., Malik, P. 2008. \mathcal{J} and \mathcal{J}^* -convergence of double sequences. *Mathematica Slovaca*, 58(5): 605-620.

Dündar, E., Pancaroğlu Akın N. 2019. f -Asymptotically \mathcal{J}_2^{σ} -equivalence of double sequences of sets. *AKU J. Sci. Eng.*, 19: 79-86.

Dündar, E., Pancaroğlu Akın, N. 2020. Wijsman lacunary \mathcal{J}_2 -invariant convergence of double sequences of sets. *Honam Mathematical J.* (in press).

Dündar, E., Ulusu, U. and Nuray, F. 2020. On asymptotically ideal invariant equivalence of double sequences. *Thai J. Math.* (in press).

Fast, H. 1951. Sur la convergence statistique. *Colloq. Math.*, 2: 241-244.

Kişi, Ö., Gümüş, H., Nuray, F. 2015. \mathcal{J} -Asymptotically lacunary equivalent set sequences defined by modulus function. *Acta Universitatis Apulensis*, 41: 141-151.

Kostyrko, P., Šalát, T., Wilczyński, W. 2000. \mathcal{J} -convergence. *Real Anal. Exchange*, 26(2): 669-686.

Kumar, V., Sharma, A. 2012. Asymptotically lacunary equivalent sequences defined by ideals and modulus function. *Mathematical Sciences*, 6(23): 5.

Maddox, I. J. 1986. Sequence spaces defined by a modulus. *Math. Proc. Camb. Phil. Soc.*, 100: 161-166.

Marouf, M. 1993. Asymptotic equivalence and summability. *Int. J. Math. Math. Sci.*, 16(4): 755-762.

Mursaleen, M., Edely O. H. H. 2003. Statistical convergence of double sequences. *J. Math. Anal. Appl.*, 288: 223-231.

Nakano, H. 1953. Concave modulars. *J. Math. Soc. Japan*, 5: 29-49.

Nuray, F., Rhoades, B. E. 2012. Statistical convergence of sequences of sets. *Fasc. Math.*, 49: 87-99.

Nuray, F., Savaş, E. 1994. Invariant statistical convergence and -invariant statistical convergence. *Indian J. Pure Appl. Math.*, 10: 267-274.

Nuray, F., Gök, H., Ulusu, U. 2011. \mathcal{J}_σ -convergence, *Math. Commun.* 16: 531-538.

Pancaroğlu Akın, N., Dündar, E. 2018. Asymptotically \mathcal{J} -invariant statistical equivalence of sequences of set defined by a modulus function. *AKU Journal of Science Engineering*, 18(2): 477-485.

Pancaroğlu Akın, N., Dündar, E., Ulusu, U. 2018. Asymptotically $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ -statistical equivalence of sequences of set defined by a modulus function. *Sakarya University Journal of Science*, 22(6): 1857-1862.

Pancaroğlu, N., Nuray, F. 2013. On invariant statistically convergence and lacunary invariant statistically convergence of sequences of sets. *Progress in Applied Mathematics*, 5(2): 23-29.

Pancaroğlu, N., Nuray, F. 2014. Invariant statistical convergence of sequences of sets with respect to a modulus function. *Abstract and Applied Analysis*, Article ID 818020, 5 pages.

- Pancaroglu, N., Nuray, F. 2015.** Lacunary invariant statistical convergence of sequences of sets with respect to a Modulus Function. *Journal of Mathematics and System Science*, 5: 122-126.
- Pehlivan, S., Fisher, B. 1995.** Some sequences spaces defined by a modulus. *Mathematica Slovaca*, 45: 275-280.
- Raimi, RA. 1963.** Invariant means and invariant matrix methods of summability. *Duke Math. J.*, 30: 81-94.
- Savaş, E., Nuray, F. 1993.** On σ -statistically convergence and lacunary σ -statistically convergence. *Math. Slovaca*, 43(3): 309-315.
- Savaş, E. 2013.** On \mathcal{J} -asymptotically lacunary statistical equivalent sequences. *Adv. Differ. Equ.*, (111) (2013): doi:10.1186/1687-1847-2013-111
- Schaefer, P. 1972.** Infinite matrices and invariant means. *Proc. Amer. Math. Soc.*, 36: 104-110.
- Schoenberg, I. J. 1959.** The integrability of certain functions and related summability methods. *Amer. Math. Monthly*, 66: 361-375.
- Tortop, Ş., Dündar, E. 2018.** Wijsman \mathcal{J}_2 -invariant convergence of double sequences of sets. *Journal of Inequalities and Special Functions*, 9(4): 90-100.
- Ulusu, U., Nuray, F. 2016.** Lacunary \mathcal{J}_σ -convergence. *2nd International Conference on Analysis and Its Applications*, pp: 321, Kırşehir.
- Ulusu, U., Dündar, E., Nuray, F. 2018.** Lacunary \mathcal{J}_2 -invariant convergence and some properties. *International Journal of Analysis and Applications*, 16(3): 317-327.
- Ulusu, U., Gülle, E. 2019.** Asymptotically \mathcal{J}_σ -equivalence of sequences of sets. *Sakarya University Journal of Science*, 23(5): 718-723.



Dolgu Duvarların Mod Katkı Çarpanlarına Etkisinin İncelenmesi

Investigating the Influence of Infill Walls on Modal Contribution Factors

Taner Uçar* 

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmir, Türkiye

Öz

Bellirli bir kütle ve rijitliğe sahip dolgu duvarlar binaların serbest titreşim özelliklerini etkilemesi beklenir. Bu durumda taşıyıcı sistemin serbest titreşim analizinden elde edilen modal hesap parametrelerine göre belirlenen ve modal hesap yöntemleri için önem arz eden mod katkı çarpanlarının da değişmesi olasıdır. Çalışmada farklı açıklık ve kat sayısına sahip betonarme çerçevelerde taban kesme kuvveti, devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi olmak üzere üç davranış büyüklüğü için mod katkı çarpanları hesaplanmıştır. Dolgu duvarlar analitik modellerde iki ucu mafsallı köşegen eşdeğer basınç çubuğu olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca, ilk iki serbest titreşim modu için ilgili statik mod tepkilerinde ortaya çıkan mutlak hatalar hesaplanarak modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Yapısal analiz ve deprem tasarımıda genellikle yapıldığı gibi, ilgili çerçevelerde dolgu duvar etkisi dikkate alınmadan aynı büyükler için mod katkı çarpanları ve mutlak hatalar hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dolgu duvarların özellikle taban kesme kuvvetine karşı gelen mod katkı çarpanına etkisinin daha önemli olduğu ve bu davranış büyüklüğü için statik mod tepkisinde ortaya çıkan hatanın azalmasını sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme çerçeve, Devirme momenti, Dolgu duvar, Mod katkı çarpanı, Taban kesme kuvveti, Tepe noktası yanal ötelenmesi

Abstract

Infill walls are expected to affect free vibration characteristics of buildings due to their mass and stiffness. Accordingly, modal contribution factors, which are based on modal parameters of free vibration of a structural system and have a significant importance in modal analysis, will probably vary. In the present study, modal contribution factors for three response quantities, which are base shear, base overturning moment and lateral roof displacement of reinforced concrete frame structures with different numbers of bay and story, are determined. Infill walls are simulated by means of both ends pinned equivalent diagonal compression strut in analytical models. Moreover, the absolute error in the static response of the considered quantities for the first two modes is calculated and the results are evaluated in determining the sufficient number of modes to be included in modal analysis. Modal contribution factors and absolute errors in the static response of the considered quantities are also calculated not taking into account infill walls in frames, as usually done in structural analysis and seismic design, and the results are compared for both cases. Infill walls are found to be more influential on modal contribution factor for base shear than for two other response quantities and reduce the error in static base shear response.

Keywords: Reinforced concrete frame, Overturning moment, Infill wall, Modal contribution factor, Base shear force, Lateral roof displacement

1. Giriş

Binaların deprem hesabının taşıyıcı sistemin modal davranışını esas alan modal hesap yöntemleri ile yapılması durumunda tekil modların dikkate alınan davranış büyüklüklerine katkılarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda yerdeğiştirme, görelî kat ötelenmesi, iç kuvvet bileşenleri

gibi çeşitli davranış büyüklüklerine farklı titreşim modların katkılarının görece büyüklüklerini ifade eden mod katkı çarpanlarının hesaplanması önem kazanmaktadır. Ayrıca, modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısının belirlenmesi bakımından da mod katkı çarpanlarının hesaplanması gereklidir. Binaların serbest titreşim özellikleri ile ilişkili modal parametrelere bağlı olarak elde edilen mod katkı çarpanlarına kütle ve rijitliği olan yapısal veya yapısal olmayan her elemanın etkisinin olması muhtemeldir. Bu doğrultuda çeşitli fonksiyonel

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: taner.ucar@deu.edu.tr

gereksinimler ve mimari nedenlerle tüm yapı tiplerinde çok yaygın olarak kullanılan dolgu duvarların etkisinin incelenmesi önem kazanmaktadır.

Dolgu duvarlar deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımında genellikle yapısal eleman olarak analitik modelde dikkate alınmayıp kat kütesine sabit yük olarak dahil edilmektedir. Buna karşılık belirli bir rijitliğe sahip oldukları için dolgu duvarların, binaların yanal rijitlik ve titreşim özelliklerini değiştirerek hem deprem talebi hem de yapısal kapasite üzerinde etkili olması beklenir. Ayrıca, dolgu duvarların deprem etkisi altında çeşitli düzensizlik durumları meydana getirerek oluşan hasarlarda pay sahibi oldukları yaşanan depremlerde sıkça gözlenmektedir (Vicente vd. 2010, Braga vd. 2011, Kam vd. 2011, Vicente vd. 2012, Hermanns vd. 2014, Varum 2017).

Dolgu duvar literatürde detaylı çalışılan bir konu olup dolgu duvarların modellenmesi, düzlem içi ve düzlem dışı davranışlarının incelenmesi, dolgu duvarlı binaların deprem etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri, dolgu duvarlı betonarme binaların deprem performansı gibi genel başlıklar altında çok sayıda analitik ve deneysel çalışma bulunmaktadır (Davis vd. 2004, Sivri vd. 2006, Pujol vd. 2008, Çankaya ve Dönmez 2011, Kose ve Karşlıoğlu 2011, Yakut vd. 2013, Aksoy ve Avşar 2015, Furtado vd. 2015, Sönmez ve Dönmez 2015, Basha ve Kaushik 2016, Noh vd. 2017, Qian ve Li 2017, Furtado vd. 2018, Kaya vd. 2018, Alwashali vd. 2019, Li vd. 2019). Dolgu duvarların binaların serbest titreşim özelliklerine etkisinin incelenmesi ise genellikle dolgu duvarlı binaların temel periyodunun belirlenmesine ve dolgu duvarların temel periyoda etkisine yöneliktir (Amanat ve Hoque 2006, Kose 2009, Ricci vd. 2011, Fiore vd. 2012, Hatzigeorgiou ve Kanapitsas 2013, Asteris vd. 2015a, 2015b, Asteris vd. 2016, Perrone vd. 2016, Asteris vd. 2017, Panto vd. 2017).

Temel titreşim periyodunun belirlenmesi binaların deprem hesabı ve tasarımı konusunda şüphesiz en kritik parametrelere birisidir. Buna karşılık dolgu duvarlı binaların deprem tepkisinin sadece kısalan periyotlar dikkate alınarak belirlenmesi yeterli değildir. Çok serbestlik dereceli (ÇSD) sistemlerde n 'inci serbest titreşim modunun dikkate alınan dinamik tepkiye katkısı, taşıyıcı sisteme kat modal etkin kütlelerinin yük olarak etki ettirildiği statik çözümlemeden elde edilen sonuçların n 'inci modun tek serbestlik dereceli (TSD) sisteminin yer hareketi etkisindeki dinamik çözümlemesinden elde edilen sonuçlarla çarpımından ibarettir. Dolayısıyla, belirli bir rijitliğe sahip dolgu duvarların taşıyıcı sistemin serbest titreşim özelliklerini değiştirerek periyotları

kısaltmanın yanında farklı modal hesap parametrelerini de etkilemesi olasıdır.

Bu çalışmada dolgu duvarların binaların serbest titreşim özellikleri ile doğrudan ilişkili kat modal etkin kütlelerinin yük vektörü olarak taşıyıcı sisteme etkilenmesi sonucu hesaplanan mod katkı çarpanlarına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı kat ve açıklık sayısına sahip dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde taban kesme kuvveti, devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi için mod katkı çarpanları hesaplanmış ve sonuçlar dolgu duvarsız çerçeveler için elde edilen değerler ile karşılaştırmalı olarak tablolarda verilmiştir. Ayrıca, modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı ile ilintili olarak ilk iki modun katkısı göz önünde bulundurulduğunda dikkate alınan davranış büyüklükleri için statik mod tepkilerinde ortaya çıkan mutlak hatalar hem dolgu duvarlı hem de dolgu duvarsız çerçeveler için hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

Çalışmada dolgu duvarların mod katkı çarpanlarına etkisi analitik yöntem kullanılarak incelenmiştir. Öncelikle mod katkı çarpanlarına ait genel denklemler verilmiş ve sonra yapı dinamiği teorileri esas alınarak çalışmada dikkate alınan davranış büyüklükleri için mod katkı çarpanlarına ait denklemler oluşturulmuştur. Denklemlerdeki modal parametrelerin el çözümü ile belirlenmesi pratik olmayacağından gerekli veriler bilgisayar ortamında gerçekleştirilen yapısal analizlerden elde edilmiştir. Nümerik uygulamalarda kullanılan betonarme çerçevelerin analitik modelleri oluşturulmuş ve çalışmada amaçlanan etkiyi inceleyebilmek için dolgu duvarlar analitik modellere dahil edilmiştir.

2.1. Mod Katkı Çarpanları

Mod katkı çarpanları dikkate alınan davranış büyüklüklerine farklı titreşim modların katkılarının görece büyüklüklerini ifade eden ve yüklerin konumsal dağılımına bağlı boyutsuz değerlerdir. Mod katkı çarpanları deprem verisinden bağımsız olarak dikkate alınan deprem doğrultusuna ve taşıyıcı sistemin serbest titreşim analizinden elde edilen modal hesap parametrelerine göre hesaplanır. Hesabı istenen davranış büyüklüğü ile ilgili mod katkı çarpanlarının belirlenmesinde temel yaklaşım ÇSD sistemlerin yüklerin konumsal dağılımını belirten zaman parametresinden bağımsız dış yüklerin etkisindeki statik çözümlemesinin yapılmasıdır.

Binaların deprem hesabının taşıyıcı sistemin modal davranışını esas alan modal hesap yöntemleri ile yapılması durumunda tekil modların yerdeğiştirme, görelî kat ötelemesi, iç kuvvet bileşenleri gibi çeşitli davranış büyüklüklerine katkılarının belirlenmesi önem kazanmaktadır. $r(t)$ ile gösterilen herhangi bir davranış büyüklüğüne tüm modların katkıları dikkate alındığında

$$r(t) = \sum_{n=1}^N r_n(t) = \sum_{n=1}^N r_n^{st} [\omega_n^2 D_n(t)] = \sum_{n=1}^N r_n^{st} A_n(t) \quad (1)$$

yazılabilir. Denklem (1)'de $r_n(t)$ dikkate alınan davranış büyüklüğüne n 'inci modun katkısı, r_n^{st} statik mod tepkisi, ω_n çok serbestlik dereceli sistemin n 'inci modunun doğal frekansı, $D_n(t)$ ÇSD sistemin mod denklemlerinin çözümünü TSD sistemin tepkisi üzerinden ifade etmek için kullanılan doğrusal modal yerdeğiştirme, $A_n(t)$ ise n 'inci moda ait sözde ivmedir.

Hesabı istenen davranış büyüklüğüne n 'inci modun katkısı Denklem (2)'deki gibi de ifade edilebilir:

$$r_n(t) = r^{st} \bar{r}_n [\omega_n^2 D_n(t)] = r^{st} \bar{r}_n A_n(t) \quad (2)$$

Bu durumda n 'inci modun katkı çarpanı (birim modal davranış büyüklüğü) \bar{r}_n aşağıdaki bağıntıyla tanımlanır (Chopra, 1995):

$$\bar{r}_n = \frac{r_n^{st}}{r^{st}} \quad (3)$$

Denklem (3)'te $r^{st} = \sum r_n^{st}$ kadardır. Herhangi bir davranış büyüklüğü r için hesaplanacak mod katkı çarpanları doğal titreşim modlarının nasıl ölçeklendiğinden bağımsız olup tüm modlardaki toplamının 1'e eşit olduğu Denklem (3)'ten kolaylıkla görülebilir.

Mod katkı çarpanı \bar{r}_n çeşitli titreşim modlarının herhangi bir davranış büyüklüğüne katkılarının görece büyüklüklerini ve dolayısıyla dinamik analizde hesaba katılması gereken en az mod sayısını etkiler. Dikkate alınan davranış büyüklüğünün kesin değerini bulmak için tüm titreşim modlarının hesaba katılması gerekir. Bununla birlikte, düzlem çerçevelerde birçok durumda az sayıda modla yeterli hassasiyette sonuçlar elde edilebilir. Serbestlik derecesi N olan bir sistemde eğer sadece ilk J mod dikkate alınırsa, statik mod tepkisinde ortaya çıkan hata Denklem (4)'teki kadar olur (Chopra, 1995):

$$e_j = 1 - \sum_{n=1}^J \bar{r}_n \quad (4)$$

Buna göre davranış büyüklüğünün kesin değerine yakın sonuç elde etmek için hatanın mutlak değerini gösteren $|e_j|$ değerinin yeterince küçük olması gerekir.

2.2. Dikkate Alınan Davranış Büyüklükleri

Çalışma kapsamında ÇSD sistemlerin taban kesme kuvveti (V_b), devirme momenti (M_b) ve tepe noktası yanal ötelenmesi (u_N) için mod katkı çarpanları hesaplanmıştır. Adı geçen davranış büyüklüklerine karşı gelen mod katkı çarpanları deprem kaynaklı yer hareketi etkisinde ÇSD sistemde oluşacak tepkileri yöneten türevsel denklemlerin mod koordinatı $q_n(t)$ için çözülmesinden hareketle elde edilebilir (Chopra, 1995):

$$\ddot{q}_n(t) + 2\zeta_n \dot{q}_n(t) + \omega_n^2 q_n(t) = -\Gamma_n \ddot{u}_g(t) \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemde ζ_n ÇSD sistemin n 'inci modunun sönüm oranı, $\ddot{u}_g(t)$ yer ivmesinin zamana göre değişimi ve Γ_n n 'inci titreşim moduna ait modal katkı çarpanıdır. Denklem (5)'in $q_n(t)$ çözümünü TSD sistemin tepkisi üzerinden ifade etmek için ÇSD sistemin hareket denklemi doğrusal modal yerdeğiştirmeye bağılı olarak Denklem (6)'daki gibi yazılabilir:

$$\ddot{D}_n(t) + 2\zeta_n \dot{D}_n(t) + \omega_n^2 D_n(t) = -\ddot{u}_g(t) \quad (6)$$

Bu durumda mod koordinatı $q_n(t)$ matematiksel olarak Denklem (7)'deki gibi tanımlanır:

$$q_n(t) = \Gamma_n D_n(t) \quad (7)$$

Taşıyıcı sistemin dikkate alınan serbestliklerindeki fiziksel yerdeğişimlerine n 'inci modun katkısı

$$u_n(t) = \phi_n q_n(t) = \Gamma_n \phi_n D_n(t) \quad (8)$$

şeklinde yazılır (Chopra, 1995). Denklem (8)'de ϕ_n doğal titreşim modu olarak isimlendirilen $N \times 1$ boyutlu vektördür. Denklem (7) ve (8)'de yer alan modal katkı çarpanı Γ_n Denklem (9)'daki gibi hesaplanır:

$$\Gamma_n = \frac{\phi_n^T m 1}{\phi_n^T m \phi_n} = \frac{L_n}{M_n} \quad (9)$$

Denklem (9)'da 1 her bileşeni bir olan $N \times 1$ boyutlu etki vektörü, m kütle matrisi ve M_n n 'inci doğal titreşim modunun genelleştirilmiş kütleleridir.

Sistemin tepe noktasının fiziksel yerdeğişimi

$$u_{Nn}(t) = \Gamma_n \phi_{Nn} D_n(t) = \frac{\Gamma_n}{\omega_n^2} \phi_{Nn} A_n(t) \quad (10)$$

olarak yazılır. Denklem (10)'da ϕ_{Nn} taşıyıcı sistemin N 'inci katında (binanın tepe noktasında) n 'inci doğal titreşim moduna ait mod şekli genliğidir. Bu durumda n 'inci titreşim modunda ÇSD sistemin tepe noktası yerdeğiştirmesine karşı gelen mod katkı çarpanı Denklem (11) kullanılarak

$$\bar{u}_{Nn} = \frac{\frac{\Gamma_n}{\omega_n^2} \phi_{Nn}}{\sum_{n=1}^N \frac{\Gamma_n}{\omega_n^2} \phi_{Nn}} \quad (11)$$

şeklinde elde edilir.

ÇSD sistemin tabanındaki kesme kuvveti n 'inci modun tepkisiyle ilintili $f_n(t)$ yüklerinin toplamı kadardır:

$$V_{bn}(t) = 1^T f_n(t) = 1^T k u_n(t) = \frac{L_n^2}{M_n} A_n(t) = M_n^* A_n(t) \quad (12)$$

Buna göre n 'inci titreşim modunda ÇSD sistemin taban kesme kuvvetine karşı gelen mod katkı çarpanı Denklem (13) ile hesaplanabilir:

$$\bar{V}_{bn} = \frac{M_n^*}{\sum_{n=1}^N M_n^*} \quad (13)$$

Denklem (12) ve (13)'te yer alan M_n^* niceliği etkin mod kütlesi olarak adlandırılmaktadır.

ÇSD sistemin tabanındaki devirme momenti, n 'inci modun eşdeğer statik yüklerinin tabana göre momentleri alınarak elde edilir:

$$M_{bn}(t) = h^T f_n(t) = \frac{\phi_n^T m h}{\phi_n^T m 1} M_n^* A_n(t) = h_n^* M_n^* A_n(t) \quad (14)$$

Denklem (14)'ten hareketle n 'inci titreşim modunda ÇSD sistemin tabanındaki devirme momenti için n 'inci modun katkı çarpanı Denklem (15) kullanılarak hesaplanır:

$$\bar{M}_{bn} = \frac{h_n^* M_n^*}{\sum_{n=1}^N h_n^* M_n^*} \quad (15)$$

Denklem (15)'te h_n^* etkin mod yüksekliğidir. Denklem (11), (13) ve (15) sırasıyla tepe noktası ötelenmesi, taban

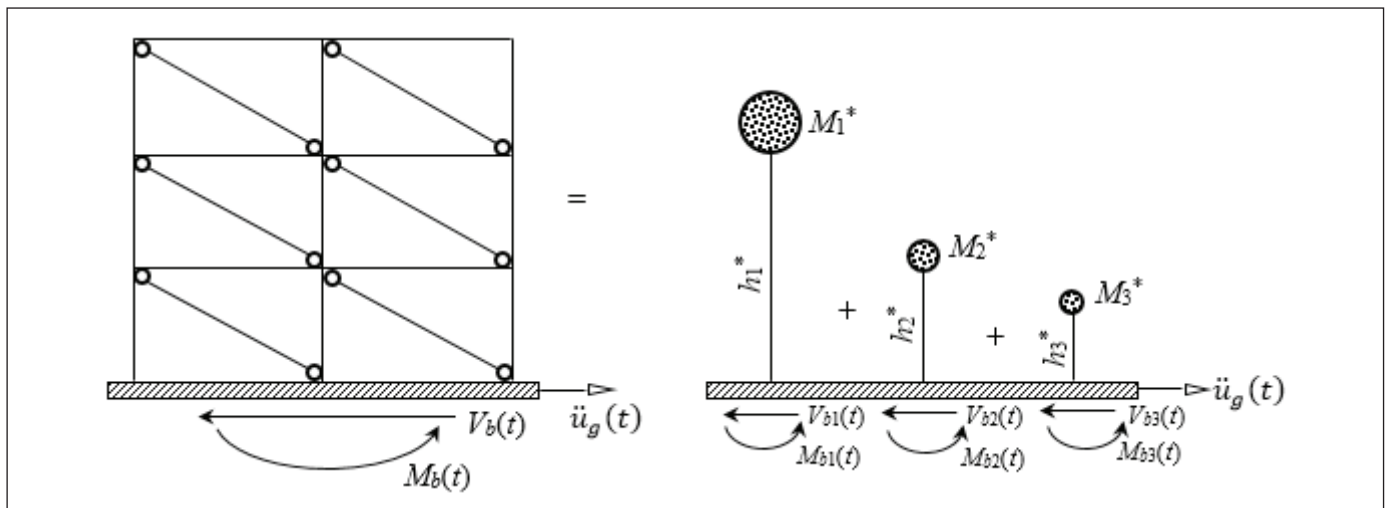
kesme kuvveti ve taban devirme momenti için mod katkı çarpanlarını verir.

n 'inci titreşim modunun tabandaki kesme kuvvetine ve devirme momentine katkısını bulmak için kullanılan yöntem Şekil 1'de gösterilmiştir. Şeklin sol tarafında yer alan çerçevedeki iki ucu mafsallı çubuklar dolgu duvarları temsil etmektedir.

2.3. Çerçevelerin Analitik Modelleri

Bu çalışma kapsamında dolgu duvarların mod katkı çarpanlarına etkisi kat sayısı 3 ile 8 arasında değişen iki, üç ve dört açıklıklı betonarme çerçevelerin analiz sonuçlarına üzerinden incelenmiştir. Dolgu duvarların mod katkı çarpanlarına olası etkisini değerlendirebilmek amacıyla aynı kat ve açıklık sayısına sahip çerçeveler yapısal analiz ve deprem tasarımında alışlagelen biçimde dolgu duvarsız olarak da dikkate alınmıştır. Böylece çalışma kapsamında gerçekleştirilen modal analizlerde toplamda 36 adet çerçeve kullanılmıştır.

Çerçeve elemanlarında karakteristik beton basınç dayanımı $f_{ck} = 25$ MPa, elastisite modülü ise $E_c = 30000$ MPa olarak dikkate alınmıştır. Çerçevelerin açıklık uzunlukları özdeş olup 5 m, tipik kat yüksekliği ise tüm çerçevelerde $h_i = 2.7$ m'dir (Şekil 2). Çalışmada kullanılan çerçeveler üç boyutlu bir yapının kenar çerçeveleri olarak varsayılmış ve düşey yükleri buna uyumlu olarak dikkate alınmıştır. Kat kütleleri ölü yükler ile hareketli yüklerin %30'unun toplamından hesaplanmış olup iki, üç ve dört açıklıklı çerçeveler için kat kütleleri sırasıyla $m_j = 36.5$ ton, 54 ton ve 71 ton; son katın kütleleri ise $m_N = 27.5$ ton, 40.5 ton ve 53.5 ton olarak



Şekil 1. Taban kesme kuvveti ve devirme momenti için mod çözümlemesi.

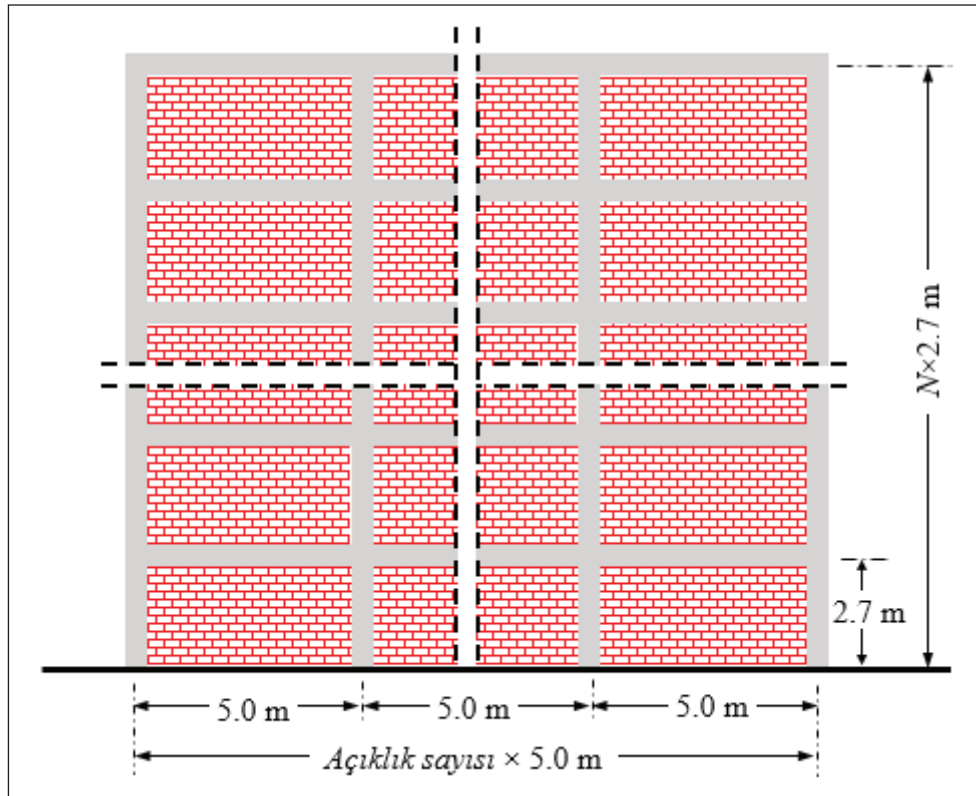
bulunmuştur. Dikdörtgen kesitli kirişlerin gövde genişliği $b_w = 250$ mm, yüksekliği ise $h = 500$ mm'dir. Kolonlar kare kesitli olarak tasarlanmış olup kesit boyutları ($b = b$) kat sayısına bağlı olarak değişmektedir. Çalışmada kullanılan çerçevelerin analitik modellerinin oluşturulmasında kullanılan geometrik ve mekanik parametreler Çizelge 1'de verilmiştir.

2.4. Dolgu Duvarların Modellenmesi

Çalışmada oluşturulan analitik modellerde dolgu duvarların etkisini dikkate alabilmek için FEMA-356 (2000)'de yer alan yaklaşım kullanılmıştır. Buna göre dolgu duvarın düzlem için elastik rijitliği köşegen eşdeğer basınç çubuğu kullanılarak dikkate alınmıştır. Dolgu duvarlı yapıların analizinde genel olarak yaygın kabul gören bu yaklaşımda

Çizelge 1. Çerçevelere ait geometrik ve mekanik parametreler.

Beton basınç dayanımı, f_{ck}	25 MPa
Beton elastisite modülü, E_c	30000 MPa
Açıklık sayısı	2, 3 ve 4
Tipik açıklık uzunluğu	5 m
Kat sayısı, N	3, 4, 5, 6, 7 ve 8
Tipik kat yüksekliği, h_i	2.7 m
Kiriş boyutları, b_w/h	250/500 mm
Kolon kesit boyutları, $b=b$	350 mm (3 katlı), 400 mm (4 katlı), 450 mm (5 katlı), 500 mm (6 ve 7 katlı), 550 mm (8 katlı)
Dolgu duvar kalınlığı, t_{inf}	200 mm
Dolgu duvar basınç dayanımı, f_{me}	5.38 MPa
Dolgu duvar elastisite modülü, E_{me}	2959 MPa



Şekil 2. Çerçevelerin düşey kesiti.

köşegen eşdeğer basınç çubuğu iki ucu mafsalı olarak modellenmekte ve böylece köşegen elemanda aksel kuvvet dışında herhangi bir iç tesirin oluşması önlenmiştir. Bu modelleme tekniğinde basınç çubuğunun kalınlığı ve elastisite modülü temsil ettiği dolgu duvarın ile aynı alındığından geriye basınç çubuğunun genişliğinin belirlenmesi kalmaktadır. FEMA-356 (2000) standartına göre köşegen eşdeğer basınç çubuğunun genişliği (a) dolgu duvarı çevreleyen çerçeve elemanlarının ve dolgu duvarın mekanik ve geometrik özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$a = 0.175(\lambda_1 h_c)^{-0.4} L_{inf} \quad (16)$$

Denklem (16)'da h_c kiriş eksenleri arasındaki kolon yüksekliği, L_{inf} dolgu duvarın köşegen uzunluğu, λ_1 ise dolgu duvar ve çerçevenin rölatif rijitliklerinin fonksiyonu olarak belirlenen bir katsayıdır:

$$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{E_{mc} t_{inf} \sin 2\theta}{4E_{fc} I_c h_{inf}}} \quad (17)$$

Denklem (17)'de E_{mc} dolgu duvarın beklenen elastisite modülü, t_{inf} dolgu duvar kalınlığı, E_{fc} çerçeve malzemesinin beklenen elastisite modülü, I_c kolonun atalet momenti, h_{inf} dolgu duvarın yüksekliği, θ ise tanjantı dolgu duvarın yüksekliğinin uzunluğuna oranı olarak belirlenen açıdır.

Çerçevelerdeki dolgu duvarları temsil eden köşegen eşdeğer basınç çubuklarına ait genişlikler yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda FEMA-356'ya göre hesaplanmış ve hesaplarda kullanılan diğer geometrik parametrelerle birlikte Çizelge 2'de listelenmiştir.

Dolgu duvarların kalınlığı $t_{inf} = 200$ mm olarak kabul edilmiştir. Dolgu duvarların basınçta beklenen elastisite modülü beklenen basınç dayanımının fonksiyonu olarak FEMA-356'ya göre belirlenmiştir. Duvar imalatları için malzeme ve işçilik koşulları düşünüldüğünde genel bir yaklaşım olarak dolgu duvar durumu vasat (orta) olarak dikkate alınmış ve bu durum için FEMA-356'da verilen dolgu duvar alt sınır basınç dayanım değeri 1.3 ile çarpılarak dolgu duvarın beklenen basınç dayanımı $f_{me} = 5.38$ MPa, beklenen elastisite modülü ise $E_{mc} = 2959$ MPa olarak hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında dikkate alınan davranış büyüklüklerine (taban kesme kuvveti (V_b), devirme momenti (M_b) ve tepe noktası yanal ötelenmesi (u_N)) karşı gelen mod katkı çarpanlarını hesaplayabilmek için öncelikle ÇSD sistemin doğal

Çizelge 2. Köşegen eşdeğer basınç çubuklarına ait geometrik parametreler.

Kat Sayısı	h = b (mm)	L_{inf} (m)	θ (°)	a (mm)
3	350	5.256	27.78	605
4	400	5.212	28.04	632
5	450	5.167	28.30	657
6	500	5.124	28.57	679
7	500	5.124	28.57	679
8	550	5.080	28.84	699

frekans ve titreşim modları hesaplanmıştır. Bu doğrultuda gereksinim duyulan kütle ve rijitlik özelliklerinin belirlenmesi için literatürde yaygın kabul gören idealleştirme kullandırılmıştır. Buna göre gerçekte bina üzerinde yayılı bulunan kütlelerin kat seviyesinde toplandığı varsayılmıştır. Ayrıca, sistemin rijitlik özelliklerinin belirlenmesinde kiriş ve kolonların aksel şekil değişimleri ile aksel kuvvetin kolon rijitliğine etkisi ihmal edilmiş; kirişlerin eğilmesi ve düğüm noktalarının dönmesi ise dikkate alınmıştır. Bu varsayımla tutarlı olacak şekilde dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevelerin analitik modelleri SAP2000 (2013) yapısal analiz programında oluşturulmuş ve matris özdeğer problemi yine bu program aracılığıyla çözülmüştür. Bilinen kütle ve rijitlik özellikleri için özdeğer probleminin çözümü olarak N adet ω_n^2 değişkeninden tüm modlara ait doğal açısal frekans (ω_n) değerleri ve onlara karşılık gelen ϕ_n mod vektörleri elde edilmiştir.

Çizelge 3'te çalışmada kullanılan tüm çerçeveler için ilk üç titreşim moduna ($n = 1, 2, 3$) ait doğal açısal frekans değerleri verilmiştir. İki ucu mafsalı köşegen eşdeğer basınç çubuğunun aksel rijitliği yatay doğrultuya transfer edildiğinde yatay rijitlik matrisinde rijitlik etki çarpanı olarak yer almakta ve çerçevenin yatay rijitliğini arttırmaktadır. Bunun bir getirisi olarak dolgu duvarlar analitik modele dahil edildiğinde doğal açısal frekanslar artmıştır. Bu bulgu dolgu duvarlar dikkate alındığında binaların doğal titreşim periyotlarının kısaldığı sonucu ile tutarlıdır (Furtado vd. 2015, Perrone vd. 2016, Panto vd. 2017, Alwashali vd. 2019). Temel moda ait doğal açısal frekanslardaki büyüme en fazla iken, modların artan sayıları için büyüme oranının azaldığı görülmüştür. Genel olarak kat sayısının artmasıyla birlikte dolgu duvarlı çerçevelerin doğal açısal frekanslarındaki büyüme oranı da azalmaktadır.

Dolgu duvarlı çerçevelerin doğal açısal frekanslarındaki artış açıklık sayısına bağlı olarak önemli bir değişim gösterme-

Çizelge 3. İlk üç moda ait doğal açılmal frekans değerleri (rad/s).

	N	İki açıklıklı			Üç açıklıklı			Dört açıklıklı		
		n=1	n=2	n=3	n=1	n=2	n=3	n=1	n=2	n=3
Dolgu duvarsız	3	18.041	57.082	98.893	17.657	55.444	94.748	17.479	54.672	92.791
	4	15.402	49.600	91.393	15.176	48.546	88.433	15.087	48.091	87.095
	5	13.413	43.466	81.717	13.277	42.758	79.592	13.235	42.484	78.680
	6	11.876	38.594	73.137	11.790	38.084	71.509	11.774	37.910	70.842
	7	10.072	32.246	59.848	10.065	32.068	59.072	10.003	31.775	58.270
	8	9.235	29.663	55.367	9.193	29.374	54.396	9.197	29.302	54.036
Dolgu duvarlı	3	30.651	88.860	137.00	30.567	88.189	134.56	30.577	88.014	133.66
	4	24.891	74.644	123.79	24.846	74.211	122.05	24.876	74.148	121.46
	5	21.078	64.173	109.78	21.062	63.894	108.54	21.104	63.900	108.17
	6	18.334	56.277	97.804	18.336	56.087	96.858	18.383	56.130	96.618
	7	15.686	47.937	82.684	15.756	48.022	82.423	15.745	47.914	82.012
	8	14.186	43.554	75.760	14.204	43.482	75.252	14.252	43.564	75.194

mektedir. Açıklık sayısına bağlı olarak 3 ve 4 katlı dolgu duvarsız çerçevelerde temel mod ve yüksek modlara ait doğal açılmal frekans değerlerindeki küçülme daha belirgin iken 5, 6, 7 ve 8 katlı çerçevelerde bu düşme miktarı çerçevelerin doğal titreşim periyotlarına etki etmeyecek düzeydedir. Buna karşılık dolgu duvarlı çerçevelerde ise açıklık sayısına bağlı olarak doğal açılmal frekans değerlerinde kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Elde edilen bu bulgu, hem dolgu duvarlı hem de dolgu duvarsız çerçevelerde açıklık sayısının temel titreşim periyoduna etkisinin olmadığı sonucu ile uyumludur (Asteris vd. 2015a, 2015b, Asteris vd. 2017).

Sönümsüz serbest titreşim analizine ait titreşim özellikleri (ω_n ve ϕ_n) kullanılarak çalışmada dikkate alınan davranış büyüklükleri için sistemlerin serbest titreşim tepkileri belirlenmiştir. İlgili davranış büyüklükleri için her bir titreşim moduna ait statik mod tepkiler hesaplanmış ve bunlar tüm modların katkılarını içeren statik tepkiye oranlanarak n 'inci modun katkı çarpanı hesaplanmıştır. Taban kesme kuvveti (V_b), devirme momenti (M_b) ve tepe noktası yanal ötelenmesi (u_N) tepki nicelikleri için hesaplanan mod katkı çarpanları 3 ve 4 katlı çerçeveler için Çizelge 4'te, 5 ve 6 katlı çerçeveler için Çizelge 5'te, 7 ve 8 katlı çerçeveler için ise Çizelge 6'da listelenmiştir.

Dikkate alınan tüm davranış büyüklüklerinde temel modun katkı çarpanı hem dolgu duvarlı hem de dolgu duvarsız çerçevelerde en büyüktür; dolayısıyla tüm davranış büyüklüklerine en fazla katkıyı temel titreşim modu yapacaktır.

Dolgu duvarlar dikkate alındığında dikkate alınan davranış büyüklükleri için temel modun katkı çarpanı büyümektedir. Bu büyüme taban kesme kuvveti için en belirgindir; en az %1.45 ve en fazla %2.81 oranında artış hesaplanmıştır. Bu artış oranları devirme momenti için daha küçüktür. Dolgu duvarlı çerçevelerde tepe noktası yanal ötelenmesi için hesaplanan artış ise çok azdır; 8 katlı çerçevelerde ise artış gözlenmemiştir. Dolgu duvarlar dikkate alındığında taban kesme kuvveti için iki ve daha yüksek sayılı modların katkı çarpanları küçülmektedir; dolayısıyla dolgu duvarlı çerçevelerde temel titreşim modunun katkısı daha çok önem kazanmaktadır. Daha önce yapılan bir çalışmada dolgu duvarlar dikkate alındığında temel mod için etkin kütle arttığı, ikinci ve üçüncü mod için ise azaldığı belirlenmiştir (Lucchini vd. 2014). Taban kesme kuvveti için mod katkı çarpanı etkin mod kütlelerine özdeş olduğundan sonuçlar Lucchini vd. (2014) ile uyumludur.

Dolgu duvarlar dikkate alındığında taban kesme kuvveti için yüksek modların katkı çarpanları küçüldüğünden katkısı %3'ten büyük olan modların sayısı azalabilir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre modal hesap yöntemlerinde katkısı %3'ten büyük olan bütün modların dikkate alınması zorunluğudur (TBDY, 2019). Dolgu duvarlı çerçevelerde özellikle ikinci modun devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi için hesaplanan katkı çarpanları büyümektedir; ikiden yüksek sayılı modlardaki değişim ise genel olarak düzensizdir. Buna göre dolgu duvarlı çerçevelerde özellikle

Çizelge 4. 3 ve 4 katlı çerçevelerde V_b , M_b ve u_N büyüklükleri için mod katkı çarpanları.

	n	İki Açıklıklı			Üç Açıklıklı			Dört Açıklıklı		
		V_b	M_b	u_N	V_b	M_b	u_N	V_b	M_b	u_N
Dolgu duvarsız	1	0.892	1.019	1.028	0.896	1.021	1.026	0.898	1.022	1.026
	2	0.090	-0.025	-0.029	0.087	-0.026	-0.029	0.086	-0.027	-0.029
	3	0.018	0.006	0.001	0.017	0.005	0.003	0.016	0.005	0.003
Dolgu duvarlı	1	0.908	1.026	1.029	0.910	1.027	1.029	0.911	1.027	1.029
	2	0.078	-0.031	-0.033	0.077	-0.031	-0.033	0.076	-0.032	-0.033
	3	0.014	0.005	0.004	0.013	0.005	0.004	0.013	0.005	0.004
Dolgu duvarsız	1	0.857	1.022	1.029	0.861	1.014	1.029	0.863	1.015	1.029
	2	0.101	-0.032	-0.033	0.099	-0.024	-0.033	0.098	-0.024	-0.033
	3	0.033	0.010	0.004	0.032	0.009	0.004	0.031	0.009	0.004
	4	0.009	0.000	-0.000	0.008	-0.000	-0.001	0.008	-0.000	-0.001
Dolgu duvarlı	1	0.878	1.022	1.031	0.880	1.024	1.031	0.882	1.024	1.031
	2	0.089	-0.031	-0.036	0.088	-0.031	-0.036	0.088	-0.031	-0.036
	3	0.026	0.008	0.006	0.025	0.008	0.006	0.024	0.008	0.006
	4	0.007	-0.001	-0.001	0.006	-0.001	-0.001	0.006	-0.001	-0.001

Çizelge 5. 5 ve 6 katlı çerçevelerde V_b , M_b ve u_N büyüklükleri için mod katkı çarpanları.

	n	İki Açıklıklı			Üç Açıklıklı			Dört Açıklıklı		
		V_b	M_b	u_N	V_b	M_b	u_N	V_b	M_b	u_N
Dolgu duvarsız	1	0.834	1.007	1.030	0.837	1.009	1.030	0.839	1.010	1.030
	2	0.104	-0.020	-0.034	0.102	-0.022	-0.035	0.102	-0.022	-0.035
	3	0.040	0.012	0.005	0.038	0.011	0.005	0.038	0.011	0.005
	4	0.018	0.000	-0.001	0.017	0.000	-0.001	0.016	-0.000	-0.001
	5	0.005	0.001	0.000	0.005	0.001	0.000	0.005	0.001	0.000
Dolgu duvarlı	1	0.856	1.019	1.031	0.859	1.021	1.031	0.860	1.021	1.031
	2	0.094	-0.029	-0.037	0.093	-0.030	-0.037	0.092	-0.030	-0.037
	3	0.032	0.010	0.007	0.031	0.009	0.007	0.031	0.009	0.007
	4	0.014	-0.001	-0.001	0.013	-0.001	-0.002	0.013	-0.001	-0.002
	5	0.004	0.001	0.000	0.004	0.001	0.000	0.004	0.001	0.000
Dolgu duvarsız	1	0.818	1.004	1.031	0.821	1.006	1.031	0.823	1.007	1.031
	2	0.104	-0.019	-0.035	0.103	-0.0201	-0.036	0.103	-0.021	-0.036
	3	0.042	0.013	0.006	0.041	0.012	0.006	0.041	0.0122	0.006
	4	0.022	0.000	-0.001	0.021	0.000	-0.001	0.021	0.000	-0.001
	5	0.011	0.002	0.000	0.010	0.001	0.000	0.010	0.002	0.000
	6	0.003	0.000	-0.000	0.003	0.000	-0.000	0.003	0.000	-0.000
Dolgu duvarlı	1	0.841	1.016	1.032	0.843	1.018	1.032	0.845	1.018	1.032
	2	0.096	-0.028	-0.037	0.095	-0.028	-0.038	0.094	-0.029	-0.037
	3	0.035	0.011	0.007	0.034	0.010	0.007	0.034	0.010	0.007
	4	0.018	-0.001	-0.002	0.017	-0.001	-0.002	0.017	-0.001	-0.002
	5	0.009	0.001	0.001	0.008	0.001	0.000	0.008	0.001	0.000
	6	0.003	0.000	-0.000	0.003	0.000	-0.000	0.003	0.000	-0.000

ikinci titreşim modunun katkısının taban kesme kuvvetine kıyasla devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi için daha önemli olması beklenmektedir.

Çizelge 4,5 ve 6'dan kolayca görülebileceği gibi tüm modların katkı çarpanlarının toplamı 1 olmakla birlikte, toplamın 1'e

yakınsaması monotonik bir biçimde olmak zorunda değildir. Çalışmada dikkate alınan davranış büyüklüklerinden taban kesme kuvveti monotonik biçimde 1'e yakınsar, ancak devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi inişli çıkışlı ilerlemektedir. Mod katkı çarpanlarının birikimli

Çizelge 6. 7 ve 8 katlı çerçevelerde V_b , M_b ve u_N büyüklükleri için mod katkı çarpanları.

	n	İki Açıklıklı			Üç Açıklıklı			Dört Açıklıklı		
		V_b	M_b	u_N	V_b	M_b	u_N	V_b	M_b	u_N
Dolgu duvarsız	1	0.815	1.006	1.031	0.814	1.006	1.031	0.820	1.009	1.031
	2	0.101	-0.021	-0.036	0.101	-0.021	-0.037	0.100	-0.023	-0.037
	3	0.041	0.012	0.007	0.041	0.013	0.007	0.040	0.012	0.007
	4	0.022	-0.000	-0.002	0.022	-0.000	-0.002	0.021	-0.000	-0.002
	5	0.013	0.002	0.000	0.013	0.002	0.000	0.012	0.002	0.000
	6	0.006	0.000	-0.000	0.007	0.000	-0.000	0.006	0.000	-0.000
	7	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
Dolgu duvarlı	1	0.836	1.018	1.032	0.836	1.018	1.032	0.840	1.020	1.032
	2	0.094	-0.029	-0.038	0.094	-0.029	-0.038	0.094	-0.030	-0.038
	3	0.035	0.010	0.008	0.035	0.011	0.008	0.034	0.010	0.008
	4	0.018	-0.001	-0.002	0.018	-0.001	-0.002	0.017	-0.002	-0.002
	5	0.010	0.002	0.001	0.010	0.002	0.001	0.010	0.002	0.001
	6	0.005	0.000	-0.000	0.006	0.000	-0.000	0.005	-0.000	-0.000
	7	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Dolgu duvarsız	1	0.805	1.004	1.032	0.808	1.006	1.032	0.809	1.007	1.032
	2	0.101	-0.020	-0.037	0.101	-0.021	-0.037	0.100	-0.022	-0.037
	3	0.042	0.013	0.007	0.042	0.013	0.007	0.041	0.012	0.007
	4	0.023	0.000	-0.002	0.023	-0.000	-0.002	0.022	-0.000	-0.002
	5	0.014	0.002	0.001	0.014	0.002	0.001	0.014	0.002	0.001
	6	0.009	0.000	-0.000	0.008	0.000	-0.000	0.008	0.000	-0.000
	7	0.005	0.001	0.000	0.004	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000
	8	0.001	0.000	-0.000	0.001	0.000	-0.000	0.001	0.000	-0.000
Dolgu duvarlı	1	0.826	1.016	1.032	0.828	1.017	1.032	0.830	1.018	1.032
	2	0.095	-0.028	-0.038	0.094	-0.029	-0.038	0.094	-0.029	-0.038
	3	0.036	0.011	0.008	0.035	0.011	0.008	0.035	0.011	0.008
	4	0.019	-0.001	-0.002	0.019	-0.001	-0.002	0.018	-0.001	-0.002
	5	0.012	0.002	0.001	0.011	0.002	0.001	0.011	0.002	0.001
	6	0.007	0.000	-0.000	0.007	0.000	-0.000	0.007	0.000	-0.000
	7	0.004	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000
	8	0.001	0.000	-0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	-0.000

toplamlarının 1'e yakınsama biçimi dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı çerçevelerde aynıdır.

Çizelge 7'de ilk iki mod kullanıldığında statik mod tepkilerinde ortaya çıkan e_2 hatasının mutlak değerleri verilmiştir. Çalışmada dikkate alınan davranış büyüklükleri arasında en büyük mutlak hata taban kesme kuvveti için hesaplanmıştır. Dolgu duvarların dikkate alınması durumunda taban kesme kuvvetinde e_2 hatası için hesaplanan mutlak hatalar azalmaktadır. İki açıklıklı 4 ve 6 katlı dolgu duvarlı çerçevelerde taban kesme kuvveti için hesaplanan e_2 hatası sırasıyla %3.3 ve %6.3 iken benzer geometrik ve yapısal özelliklere sahip çerçeveler için Lucchini vd. (2014) %4 ve %8 değerlerini elde etmiştir. İlk iki mod kullanıldığında devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi tepkilerinde ortaya çıkan mutlak hatalar oldukça küçük olup dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçeveler için kayda değer bir değişim göstermemektedir. Statik mod tepkilerinde ortaya çıkan hata değerleriyle ilgili olarak özellikle taban kesme kuvveti ile ilgili olanların

üzerinde durulması faydalı olacaktır. Bu doğrultuda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı ile ilgili olarak her tekil modda hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütleler için %95 kuralı önem kazanmaktadır (TBDY, 2019). Taban kesme kuvveti modal etkin kütle, taban kesme kuvveti için hesaplanan statik mod tepkisine eşit olduğundan sözü edilen kural taban kesme kuvveti için e_2 hatasının %5'ten az olmasını sağlayacak sayıda titreşim modunun dikkate alınması anlamına gelmektedir. Bu durumda dolgu duvarlar dikkate alındığında taban kesme kuvveti için daha az sayıda titreşim modunun katkısının hesaba katılması söz konusu olabilir. Örneğin, 5 katlı çerçevelerde dolgu duvarlı durumda ilk iki mod dikkate alındığında bu kural sağlanmakta iken dolgu duvarsız çerçevelerde ikiden fazla sayıda modun hesaba katılması gereklidir.

Çalışmadan elde edilen bulgulara göre dolgu duvarlar analitik modele dahil edildiğinde çalışmada dikkate alınan

Çizelge 7. İlk iki mod için statik tepkilerde ortaya çıkan mutlak hatalar.

Kat Sayısı	Statik Tepki	İki Açıklıklı		Üç Açıklıklı		Dört Açıklıklı	
		Dolgu Duvarsız	Dolgu Duvarlı	Dolgu Duvarsız	Dolgu Duvarlı	Dolgu Duvarsız	Dolgu Duvarlı
3	V_b	0.018	0.014	0.017	0.013	0.016	0.013
	M_b	0.006	0.005	0.005	0.004	0.005	0.005
	u_N	0.001	0.004	0.003	0.004	0.003	0.004
4	V_b	0.042	0.033	0.040	0.032	0.039	0.030
	M_b	0.010	0.009	0.010	0.007	0.009	0.007
	u_N	0.004	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005
5	V_b	0.062	0.050	0.061	0.048	0.059	0.048
	M_b	0.013	0.010	0.013	0.009	0.012	0.009
	u_N	0.004	0.006	0.005	0.006	0.005	0.006
6	V_b	0.078	0.063	0.076	0.062	0.074	0.061
	M_b	0.015	0.012	0.014	0.010	0.014	0.011
	u_N	0.004	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005
7	V_b	0.084	0.070	0.085	0.070	0.080	0.066
	M_b	0.015	0.011	0.015	0.011	0.014	0.010
	u_N	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
8	V_b	0.094	0.079	0.091	0.078	0.091	0.076
	M_b	0.016	0.012	0.015	0.012	0.015	0.011
	u_N	0.005	0.006	0.005	0.006	0.005	0.006

tüm davranış büyüklükleri için temel modun katkı çarpanı büyüme oranı en belirgin büyüme oranı taban kesme kuvveti için hesaplanmıştır. Dolgu duvarlar dikkate alındığında taban kesme kuvveti için yüksek modların katkı çarpanları ise küçülmektedir. Dolgu duvarlı çerçevelerde özellikle ikinci serbest titreşim modunun katkısı taban kesme kuvvetine kıyasla devirme momenti ve tepe noktası yanal ötelenmesi için önem kazanmaktadır. İlk iki mod için taban kesme kuvveti statik tepkisinde ortaya çıkan mutlak hata dolgu duvarlar dikkate alındığında küçülmekte, diğer davranış büyüklükleri için ise önemli bir değişim sergilememektedir. Dolgu duvarlar sadece periyodu değiştirerek taşıyıcı sistemlerin dinamik çözümleme sonuçlarını değil statik mod tepkilerini de etkilemektedir. Ayrıca, binaların deprem tasarımı ile ilintili olarak dolgu duvarların modal hesap yöntemlerinde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısını da değiştirebileceği belirlenmiştir. Dolgu duvarlı binaların deprem tepkisinin belirlenmesinde çalışmada incelenen durumların da göz önünde bulundurulması önerilmektedir.

4. Kaynaklar

- Aksoy, H. B., Avcı, Ö. 2015.** Dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına etkisinin basitleştirilmiş bir yöntemle dikkate alınması. *Pamukkale Üniv. Müh. Bilim. Derg.*, 21(3): 115-122. <http://dx.doi.org/10.5505/pajes.2014.52297>
- Alwashali, H., Sen, D., Jin, K., Maeda, M. 2019.** Experimental investigation of influences of several parameters on seismic capacity of masonry infilled reinforced concrete frame. *Eng. Struct.*, 189: 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.03.020>
- Amanat, K. M., Hoque, E. 2006.** A rationale for determining the natural period of RC building frames having infill. *Eng. Struct.*, 28(4): 495-502. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.09.004>
- Asteris, P. G., Repapis, C. C., Cavaleri, L., Sarhosis, V., Athanasopoulou, A. 2015a.** On the fundamental period of infilled RC frame buildings. *Struct. Eng. Mech.*, 54(6): 1175-1200. <http://dx.doi.org/10.12989/sem.2015.54.6.1175>
- Asteris, P. G., Repapis, C. C., Tsaris, A. K., Di Trapani, F., Cavaleri, L. 2015b.** Parameters affecting the fundamental period of infilled RC frame structures. *Earthq. Struct.*, 9(5): 999-1028. <http://dx.doi.org/10.12989/eas.2015.9.5.999>
- Asteris, P. G., Tsaris, A. K., Cavaleri, L., Repapis, C. C., Papalou, A., Di Trapani, F., Karypidis, D. F. 2016.** Prediction of the fundamental period of infilled RC frame structures using artificial neural networks. *Comput. Intell. Neurosci.*, 2016: 1-12. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5104907>
- Asteris, P. G., Repapis, C. C., Repapi, E. V., Cavaleri, L. 2017.** Fundamental period of infilled reinforced concrete frame structures. *Struct. Infrastruct. Eng.*, 13(7): 929-941. <https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1227341>
- Braga, F., Manfredi, V., Masi, A., Salvatori, A., Vona, M. 2011.** Performance of non-structural elements in RC buildings during the L'Aquila, 2009 earthquake. *Bull. Earthq. Eng.*, 9(1): 307-324. <https://doi.org/10.1007/s10518-010-9205-7>
- Basha, S. H., Kaushik, H. B. 2016.** Behavior and failure mechanisms of masonry-infilled RC frames (in low-rise buildings) subject to lateral loading. *Eng. Struct.*, 111: 233-245. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.12.034>
- Chopra, A. K. 1995.** Dynamics of structures-Theory and applications to earthquake engineering. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Computers and Structures Inc. 2013.** SAP2000 Ultimate-Integrated solution for structural analysis and design. Structural Analysis Program, Version 16.0.0, Berkeley, CA.
- Çankaya, M. A., Dönmez, C. 2011.** Tersinir yükler altında dolgu duvarların betonarme çerçevelerin rijitlik, dayanım, ötelenme profili ve doğal frekanslarına etkisi. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara, 11-14 Ekim.
- Davis, R., Krishnan, P., Menon, D., Prasad, A. M. 2004.** Effect of infill stiffness on seismic performance of multi-storey RC framed buildings in India. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6.
- FEMA-356 2000.** Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Fiore, A., Netti, A., Monaco, P. 2012.** The influence of masonry infill on the seismic behaviour of RC frame buildings. *Eng. Struct.*, 44: 133-145. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.05.023>
- Furtado, A., Rodrigues, H., Arêde, A. 2015.** Modelling of masonry infill walls participation in the seismic behaviour of RC buildings using OpenSees. *Int. J. Adv. Struct. Eng.*, 7(2): 117-127. <https://doi.org/10.1007/s40091-015-0086-5>
- Furtado, A., Rodrigues, H., Arêde, A., Varum, H. 2018.** Out-of-plane behavior of masonry infilled RC frames based on the experimental tests available: A systematic review. *Constr. Build. Mater.*, 168: 831-848. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.129>
- Hatzigeorgiou, G. D., Kanapitsas, G. 2013.** Evaluation of fundamental period of low-rise and mid-rise reinforced concrete buildings. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 42(11): 1599-1616. <https://doi.org/10.1002/eqe.2289>

- Hermanns, L., Fraile, A., Alarcón, E., Álvarez, R. 2014.** Performance of buildings with masonry infill walls during the 2011 Lorca earthquake. *Bull. Earthq. Eng.*, 12(5): 1977-1997. <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9499-3>
- Kam, W. Y., Pampanin, S., Elwood, K. 2011.** Seismic performance of reinforced concrete buildings in the 22 February Christchurch (Lyttelton) Earthquake. *Bull. N. Z. Soc. Earthq. Eng.*, 44(4): 239-278.
- Kaya, F., Tekeli, H., Anil, Ö. 2018.** Experimental behavior of strengthening of masonry infilled reinforced concrete frames by adding rebar-reinforced stucco. *Struct. Concr.*, 19(6): 1792-1805. <https://doi.org/10.1002/suco.201700210>
- Kose, M. M. 2009.** Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls. *Eng. Struct.*, 31(1): 93-102. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.07.017>
- Kose, M. M., Karslioglu, O. 2011.** Effects of infill walls on base responses and roof drift of reinforced concrete buildings under time-history loading. *Struct. Des. Tall Spec. Build.*, 20(3): 402-417. <https://doi.org/10.1002/tal.535>
- Li, S., Kose, M. M., Shan, S., Sezen, H. 2019.** Modeling methods for collapse analysis of reinforced concrete frames with infill walls. *J. Struct. Eng.*, 145(4): 04019011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002285](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002285)
- Lucchini, A., Mollaioli, F., Bazzurro, P. 2014.** Floor response spectra for bare and infilled reinforced concrete frames. *J. Earthq. Eng.*, 18(7): 1060-1082. <https://doi.org/10.1080/13632469.2014.916633>
- Noh, N. M., Liberatore, L., Mollaioli, F., Tesfamariam, S. 2017.** Modelling of masonry infilled RC frames subjected to cyclic loads: State of the art review and modelling with OpenSees. *Eng. Struct.*, 150: 599-621. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.07.002>
- Panto, B., Calio, I., Lourenço, P. B. 2017.** Seismic safety evaluation of reinforced concrete masonry infilled frames using macro modelling approach. *Bull. Earthq. Eng.*, 15(9): 3871-3895. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0120-z>
- Perrone, D., Leone, M., Aiello, M. A. 2016.** Evaluation of the infill influence on the elastic period of existing RC frames. *Eng. Struct.*, 123: 419-433. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.05.050>
- Pujol, S., Benavent-Climent, A., Rodriguez, M. E., Smith-Pardo, J. P. 2008.** Masonry infill walls: An effective alternative for seismic strengthening of low-rise reinforced concrete building structures. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, October 12-17.
- Qian, K., Li, B. 2017.** Effects of masonry infill wall on the performance of RC frames to resist progressive collapse. *J. Struct. Eng.*, 143(9): 04017118. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001860](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001860)
- Ricci, P., Verderame, G. M., Manfredi, G. 2011.** Analytical investigation of elastic period of infilled RC MRF buildings. *Eng. Struct.*, 33(2): 308-319. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.10.009>
- Sivri, M., Demir, F., Kuyucular, A. 2006.** Dolgu duvarlarının çerçeve yapının deprem davranışına ve göçme mekanizmasına etkisi. *Süleyman Demirel Üniv. Fen Bilim. Enst. Derg.*, 10(1): 109-115.
- Sönmez, E., Dönmez, C. 2015.** Betonarme çerçevelerde dolgu duvarlar vasıtasıyla rijitlik dağılımının değiştirilmesinin deprem talepleri altındaki ötelenme dağılımına etkisi. *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, İzmir, 14-16 Ekim.
- TBDY 2019.** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Ankara, Türkiye.
- Varum, H., Furtado, A., Rodrigues, H., Dias-Oliveira, J., Vila-Pouca, N., Arêde, A. 2017.** Seismic performance of the infill masonry walls and ambient vibration tests after the Ghorka 2015, Nepal earthquake. *Bull. Earthq. Eng.*, 15(3): 1185-1212. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-9999-z>
- Vicente, R., Rodrigues, H., Costa, A., Varum, H., Mendes da Silva, J. A. R. 2010.** Masonry enclosure walls: Lessons learnt from the recent Abruzzo Earthquake. *14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid, Makedonya, 30 August-3 September.
- Vicente, R. S., Rodrigues, H., Varum, H., Costa, A., Mendes da Silva, J. A. R. 2012.** Performance of masonry enclosure walls: lessons learned from recent earthquakes. *Earthq. Eng. Eng. Vib.*, 11(1): 23-34. <https://doi.org/10.1007/s11803-012-0095-3>
- Yakut, A., Binici, B., Demirel, İ. O., Özcebe, G. 2013.** Dolgu duvarların deprem davranışına etkisi. *2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay, 25-27 Eylül.



Prediction of the Success of Wart Treatment Methods

Siğil Tedavi Yöntemlerinin Başarısının Tahmini

Rukiye Uzun Arslan^{1*}, Yalçın İşler², Mualla Toksan¹

¹Bülent Ecevit University, Engineering Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering, Zonguldak, Turkey

²İzmir Katip Çelebi University, Engineering Faculty, Department of Biomedical Engineering, İzmir, Turkey

Abstract

The wart is a dermatosis originated by Human Papilloma Virus. People can be infected by direct or indirect contact. Almost all age groups, especially children and young adults suffer from warts. Recently, new treatment methods including cryotherapy and immunotherapy have been developed as alternatives to conventional methods. Although the treatment decision process is very important, there is no validated decision strategy yet except for only a few studies. In this study, an expert system is proposed to predict whether the selected wart treatment method will be successful or not. The publicly available datasets are applied to the Multi-Layer Perceptron and the Extreme Learning Machine classification algorithms. We compute the classifier performances by the 10-fold cross-validation method. As a result, the multi-layer perceptron approach results in 78.95% of sensitivity, 98.60% of specificity, and 94.45% of accuracy to predict the success of a wart treatment method.

Keywords: Cryotherapy, Extreme learning machine, Human papilloma virus, Immunotherapy, Prediction, Multi-layer perceptron, Wart treatment

Öz

Siğil, insanlara doğrudan veya dolaylı temastan bulaşabilen human papilloma virüsü kaynaklı bir cilt hastalığıdır. Neredeyse tüm yaş grupları, özellikle çocuklar ve genç yetişkinler siğile katlanmaktadır. Son zamanlarda, geleneksel yöntemlere alternatif olarak kriyoterapi ve immünoterapi gibi yeni tedavi yöntemleri geliştirilmiştir. Tedavi karar süreci çok önemli olmasına rağmen, sadece birkaç çalışma dışında henüz geçerliliği kabul edilen bir karar stratejisi yoktur. Bu çalışmada, seçilen siğil tedavisi yönteminin başarılı olup olmayacağını tahmin etmek için uzman bir sistem önerilmiştir. Açık erişime sahip veri setleri, Çok Katmanlı Algılayıcı ve Aşırı Öğrenme Makinesi sınıflandırma algoritmalarına uygulanmıştır. Sınıflandırıcı performansını 10 kat çapraz doğrulama yöntemiyle hesaplanmıştır. Sonuç olarak, önerilen çok katmanlı algılayıcı yaklaşımının, siğil tedavisi yönteminin başarısını tahmin etmede %78,95 duyarlılık, %98,60 özgüllük ve %94,45 hassasiyete sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kriyoterapi, Aşırı öğrenme makinesi, İnsan papiloma virüsü, İmmünoterapi, Kesitirim, Çok katmanlı algılayıcı, Siğil tedavisi

1. Introduction

The wart is a dermatosis originated by Human Papilloma Virus (HPV), with which people can be infected by direct or indirect contact (air, tools, etc.) (James et al. 2011, Carman et al. 2013). Warts can be seen in any part of the body especially on hands and feet. Most of them are benign although they are epidemic and to contaminate to people easily (James et al. 2011). Warts are divided into four main

groups according to their differences about colors, sizes, and constitutional structure: Common warts, Plantar warts, Flat warts, and Genital warts. Common and plantar warts are the most common types among them. Common warts are a type of wart seen on hands, fingers, and nails. They are harmful but painless. Plantar warts are painful warts embedded in the skin in single or multiple groups (Hosrik 2010).

Almost all age groups, especially children and young adults (between 10 and 20 years of age) suffer from warts. It is estimated that about 10% of the public population suffer from warts in Turkey (Carman et al. 2013, Hosrik 2010). To eliminate this type of dermatoses, several treatment methods have been developed. Surgical treatment, cryotherapy,

*Corresponding Author: rukiyeuzun67@gmail.com

Rukiye Uzun Arslan orcid.org/0000-0002-2082-8695

Yalçın İşler orcid.org/0000-0002-2150-4756

Mualla Toksan orcid.org/0000-0001-8682-485X

laser, electrocautery, and surgical excision methods can be applied only by specialist physicians but salicylic acid and podophyllin methods can be applied by patients themselves (McGibbon 2006).

There are many different treatment methods and processes depend on different factors (such as repetition, easy and quick application, economical efficiency, low side effects). However, none of these methods have achieved superior success yet (Lipke 2006). The required time for a wart treatment process depends on the age of the patients, their immunity, their financial situation, and the number of warts and the preference of the doctor. The treatment lasts more than 3 weeks in general (Varol 1998). Therefore, to decide which treatment method may be successful at first sight is very important.

Moreover, new treatment methods including cryotherapy and immunotherapy have been developed as alternatives to the methods mentioned above. Cryotherapy and immunotherapy are the most commonly used methods among wart treatment methods. Cryotherapy or known as “freezing” treatment in the society is a form of treatment method based on the principle of freezing and destroying abnormal tissues and lesions. The treatment consists of a tube with liquid nitrogen or carbon dioxide, and this tube is attached to the cuff. This treatment method has many advantages such as applicable to all ages, having few complications, short treatment elapsed time; notwithstanding, it has many disadvantages such as being painful, not responding in one time (Khozeimeh et al. 2017a, Khozeimeh et al. 2017b). In immunotherapy, the patient’s immune system is strengthened by using an agent that is allergic. Immunity is activated by the help of special medicine given either orally or by injection.

Over the last two decades, there are many researches related to determine the effects of these wart treatment methods (Russell et al. 2010, Clifton et al. 2003, Nofal and Nofal 2010, Horn et al. 2005, Maronn et al. 2008, Gamil et al. 2010, Silverberg et al. 2000). On the other hand, only a few studies have focused on determining whether these methods will become successful or not before starting the treatment. In the first study, authors have provided that the immunotherapy method can be applied in wart treatment using statistical evidence levels (Khozeimeh et al. 2017a). Khozeimeh et al. (2017b) created Fuzzy Logic-based rule tables for these two wart treatment methods and they achieved the average performance of 80%. In another study, Uzun et al. (2018a) investigated the performances of these

two wart treatment methods with Naive Bayes and k-nearest neighbor classifier algorithms. They found a similar classifier performance by using the 7-nearest neighbor classifiers. They also obtained higher classifier performances of (85.46%) by using the support vector machine (Uzun et al. 2018b). Abdar et al. (2019) proposed a new computer-aided diagnosis (CAD) system, which is combined by improved adaptive particle swarm optimization algorithm and artificial immune recognition system, using machine learning to classify the wart treatment methods. They used different partitioning number of cross-validation to measure their proposed model performance. They obtained the maximum accuracy of 90.00% on the combined dataset. Akben (2018) used decision trees method to decide which treatment method is more appropriate. The accuracy rates of decision trees used for cryotherapy and immunotherapy treatment methods are 94.4% and 90.0%, respectively. Khatri et al. (2018) investigated the J48 classification algorithm and the feature selection based on Genetic Algorithm (GA) on predicting the success of wart treatment methods. They obtained the classification performances of 82.22% and 96.66% for Immunotherapy and Cryotherapy methods using the J48 algorithm alone, respectively. Besides, they reported the best classification performances of 93.33% and 98.88% for Immunotherapy and Cryotherapy methods using the J48 algorithm with the selected features only, respectively. Putra et al. (2018) proposed a boosting-algorithm to select the wart treatment method and achieved the classifier accuracy of 96.6% and 91.1% in cryotherapy and immunotherapy datasets, respectively. Talabani and Avci (2018) investigated four different kernel functions to enhance the learning capacity of support vector machine algorithm for classifying wart treatment methods. They obtained the best classification performance by using Pearson VII Function-based Universal Kernel (PUK) with 97.77% accuracy for cryotherapy and 81.11% accuracy for immunotherapy separately. Rahmat et al. (2019) achieved the accuracy of 88.03% by using the k-nearest neighbor classifier. Also, they investigated the classifier performances for each dataset separately and combining in a single dataset together similar to our study. They found that the classifier performance is less than performances of separate classifiers. In a recent study, Jia et al. (2019) achieved 80.73% accuracy for the success prediction of only Immunotherapy method by using the C4.5 algorithm. Most of these studies are based on determining successes of each treatment by using distinct classifiers trained to the corresponding treatment method.

In this study, the success of cryotherapy and immunotherapy methods, which are commonly used wart treatment techniques, was predicted by a single classifier. Two different artificial neural network models of multi-layer perceptron (MLP) and extreme learning machine (ELM) were examined for this purpose. MLP has very common use in the machine learning literature and ELM has become very popular thanks to its fast learning phase. The features given in the inputs of classifiers are taken from the freely-available online datasets from UCI (Khozeimeh et al. 2017a, Khozeimeh et al. 2017b).

2. Material and Methods

2.1. Data

In this study, two datasets of *Immunotherapy Dataset* and *Cryotherapy Dataset*, which have open-access via the Internet at <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Immunotherapy+Dataset> and <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Cryotherapy+Dataset> respectively, were utilized. These datasets were acquired from the patients who had suffered from the plantar and common warts. These datasets were collected in the dermatology clinic of Ghaem Hospital in Mashhad from January 2013 to February 2015 (Khozeimeh et al. 2017a, Khozeimeh et al. 2017b).

The first dataset contains seven features from the patients who were treated by using the cryotherapy method. The other dataset consists of eight features from the patients who were

treated by using the immunotherapy. These features were listed in Table 1 for both datasets. The feature of *Response to Treatment* from these datasets is the desired output of the proposed system. Khozeimeh et al. (2017a) analyzed these features using the independent t-test and discovered the existence of statistical evidence between datasets.

These two datasets were combined and the treatment method was added as a feature. The feature of *Induration diameter* was excluded from the study since it was recorded for only Immunotherapy method. If the output of the proposed system is successful, the selected method should be applied to the patient. Otherwise, the other method should be applied to them.

2.2. Classification

Machine learning (by covering the concepts of data mining, pattern recognition, and decision making) allows us to investigate a huge amount of data, to make it meaningful by reaching the information inside, to evaluate them, and to make predictions (Duda et al. 2000). The principal area in machine learning is classification. Recently, machine learning methods have attracted researchers in many biomedical applications including the classification of skin diseases (Lamminen et al. 2001, Bunte et al. 2011, Giotis et al. 2015, Mirzaalian et al. 2016, Sumithra et al. 2015, Jain et al. 2015, Oliveria et al. 2016, Flores and Scharcanski 2016, Shrivastava et al. 2015).

Table 1. Features employed in both the cryotherapy and immunotherapy methods.

Features	Cryotherapy Group		Immunotherapy Group	
	Values	Mean±SD ^a	Values	Mean±SD ^a
Response to treatment	Yes (48) No (42)		Yes (71) No (19)	
Gender	Male (47) Female (43)		Male (41) Female (49)	
Age (Year)	15-67	28.6±13.36	15-56	31.04±12.33
Time before treatment (Months)	0-12	7.66±3.4	0-12	7.23±3.10
Number of warts	1-12	5.51±3.57	1-12	6.14±4.2
Types of warts (Count)	1- Common (54) 2- Plantar (9) 3- Both ^b (27)		1- Common (47) 2- Plantar (22) 3- Both ^b (21)	
Surface area of the biggest wart (mm^2)	4-750	85.83±131.73	6-900	95.7±136.61
Induration diameter of initial test ^c (mm)			5.70	14.3±17.22

^aStandard deviation; ^bPatients have both types of common and plantar warts; ^cThis feature is available only for the immunotherapy method.

In the literature related to prediction of the success of wart treatment method, classifier algorithms of Fuzzy Rules (Khozeimeh et al. 2017b), support vector machines (Uzun et al. 2018a), Naive Bayes (Uzun et al. 2018b) and k-Nearest Neighbors (Uzun et al. 2018b) were used previously. We explored the use of multi-layer perceptron and extreme-learning machine on solving this problem.

2.2.1 Multi-Layer Perceptron (MLP)

MLP has become the most favorite method among artificial neural network algorithms. It is commonly used in a wide range of applications including the diagnosis of several diseases in biomedicine (Pan et al. 2012, Kocer and Canal 2011). The three-layer structure is preferred in almost all of MLP related studies: the input layer, the hidden layer, and the output layer. The number of neurons in the input layer is the number of features, which is 7 in this study. The hidden layer is constituted through a various number of neurons to obtain the optimal classifier performance, which was varied between 5 and 50 with the activation of the “hyperbolic tangent (tanh)” function. The output layer obtains the classifier’s answer. Network weights, which connect these layers, are updated using the error back-propagation learning method. In this method, the mean square error between the calculated network output and the actual output is obtained and this error value is used to update network weights. This routine is repeated until the mean square error is reduced to a certain threshold value (Duda et al. 2000).

2.2.2 Extreme Learning Machine (ELM)

ELM has become popular among single-hidden-layer feedforward networks. ELM has superior regression and classification performances with much faster learning speed than other some traditional artificial neural networks (Huang et al. 2012). The input weights of the algorithm are chosen randomly and the output weights are determined analytically (Huang et al. 2004). ELM pretends giving good generalization performance at extremely fast learning speed (Huang et al. 2006). There is a website that hosts well-prepared resources and codes for different programming languages and detailed information about the algorithm can be found in (http://www.ntu.edu.sg/home/egbhuang/elm_codes.html).

2.2.3 Validation and Performance Measures

In this study, the 10-fold method is preferred as a cross-validation method. First, the data is divided into 10 groups. One of the groups is used for test and other groups are

used for training the classifier. This process is repeated until each group is used for the test purpose. Consequently, true-positive (TP), true-negative (TN), false-positive (FP), and false-negative (FN) were found where true means correct classification, false means wrong classification, positive means patient, and negative means normal subjects.

The performance of the classifier is determined by some metrics including sensitivity (SEN), specificity (SPE), and accuracy (ACC). SEN gives the correctly classified ratio of positive decisions among total positive answers. Similarly, SPE gives the ratio of exact negative decisions among all negative answers. Finally, ACC is the ratio of total correct decisions of the classifier to the total number of subjects (Duda et al. 2000):

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

$$SPE = \frac{TN}{TN + FP} \quad (1b)$$

$$ACC = \frac{TN + TP}{TN + TP + FP + FN} \quad (1c)$$

3. Results and Discussion

Two databases are combined in a single dataset in this study. We constructed the feature set of the study as follows: gender, age, time elapsed before treatment, the number of warts, type of warts, the surface area of the biggest wart, treatment method. *The induration diameter of the initial test* was excluded from the study since it was not recorded for both methods. These features were applied to the inputs of the classifier. The classifier output is the *Response to treatment* (Figure 1).

The number of neurons in the hidden layer of the ELM algorithm was changed from 2 to 100. We repeated the classifier algorithm 10 times for each configuration and noted the highest classifier performances in Figure 2. We compute the classifier performances by the 10-fold cross-validation method. This ELM-based approach results in 36.85% sensitivity, 90.15% specificity, and 78.89% accuracy.

The number of neurons in the hidden layer of the MLP algorithm was changed from 5 to 50. We repeated the classifier algorithm 10 times for each configuration and noted the highest classifier performances in Figure 3. This MLP-based approach results in 78.95% sensitivity, 98.60% specificity, and 94.45% accuracy. This method results in

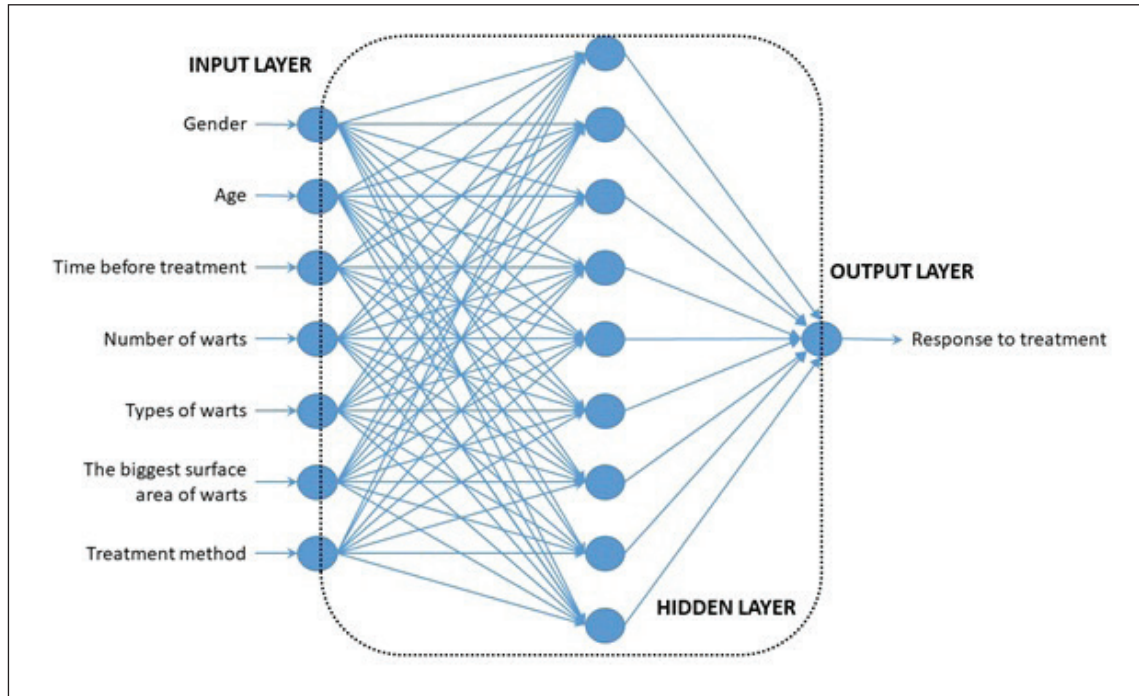


Figure 1. Multi-layer perceptron to detect the performance of the wart treatment methods.

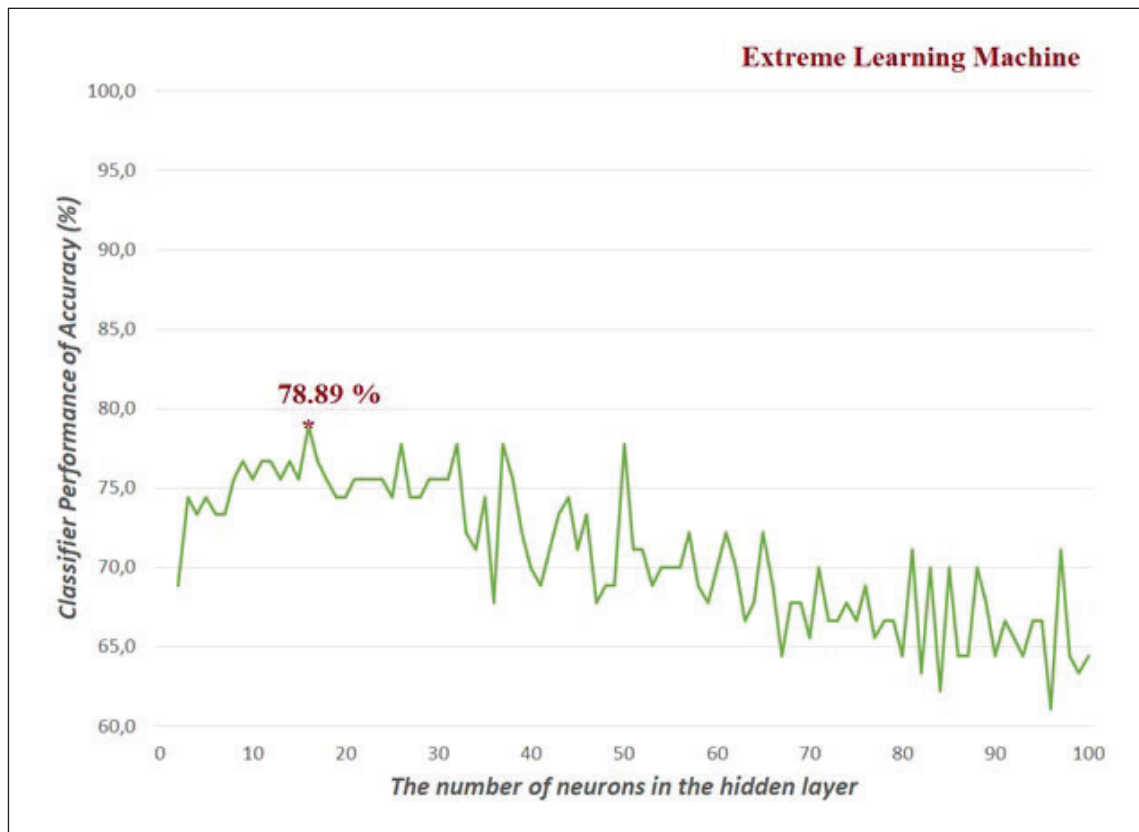


Figure 2. Extreme learning machine performance results of accuracy. The highest accuracy value is emphasized by a star sign.

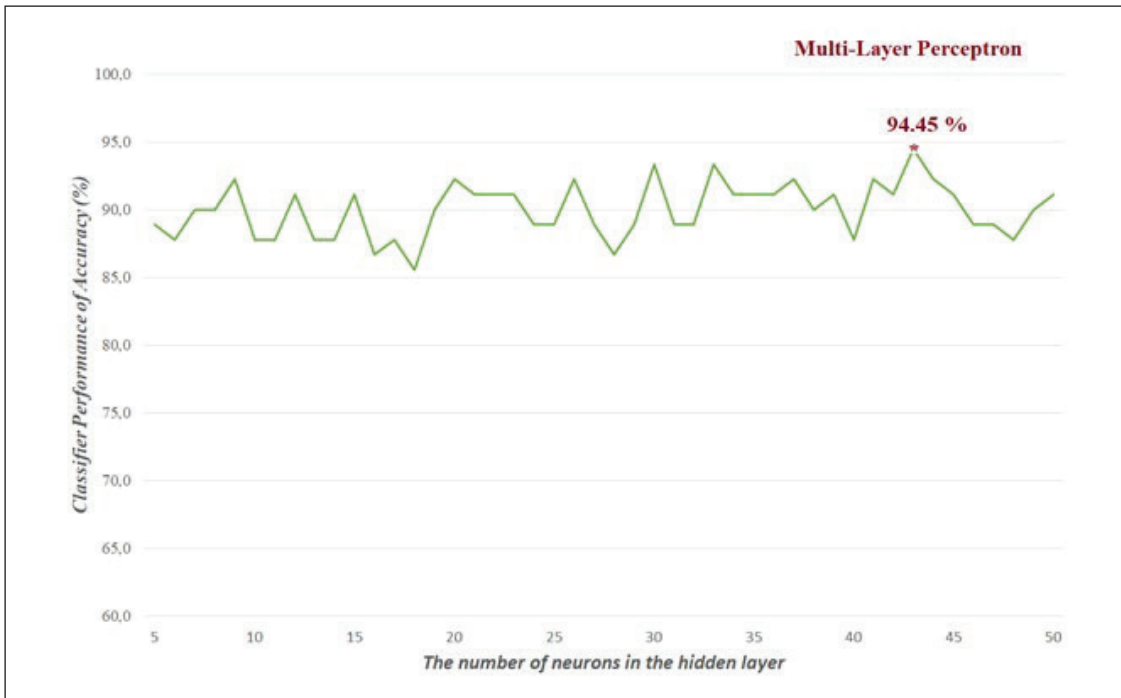


Figure 3. Multi-Layer Perceptron performance results of accuracy. The highest accuracy value is emphasized by a star sign.

better classification performance than similar studies in the literature.

We summarized the recent literature related to predicting the performance of a selected treatment method in Table 2. If a study reported the performances separately for both datasets, we combined both into a single performance by calculating performances from TP, TN, FP, and FN values given in the related study. Khozeimeh et al. (2017b) prepared the database and obtained prediction accuracies of 83.3% for immunotherapy method and 80.7% for cryotherapy method. Uzun et al. (2018a, 2018b, 2019) used Naive Bayes, k-Nearest Neighbors, Support Vector Machines, Logistic Regression, and Decision Tree on the same database and reached the maximum classification performance of an accuracy of 85.56%, a sensitivity of 52.63%, and a specificity of 94.37% for Decision Tree algorithm. Talabani and Avci (2018) compared SVM classifiers of four different kernels (Normalized Polynomial Kernel (NP), Polynomial Kernel (PK), Radial Basis Function Kernel (RBF), and Pearson VII function based Universal Kernel (PUK)) and achieved the maximum classification performance of an accuracy of 89.44%, a sensitivity of 77.05%, and a specificity of 89.06% with the PUK kernel. Putra et al. (2018) proposed the AdaBoost algorithm to determine the success of the selected wart treatment method and achieved the maximum classification performance of an accuracy of 93.89%, a sensitivity of 96.64%, and a specificity of 93.10%. Khatri et

al. (2018) investigated the J48 classification algorithm and the feature selection based on Genetic Algorithm (GA) on predicting the success of wart treatment methods. They obtained the best classification performance of an accuracy of 88.03%, a sensitivity of 93.60%, and a specificity of 84.50% by using the J48 algorithm with the selected features only. Rahmat et al. (2019) compared three different classifiers (Decision Tree, Random Forest, and k-Nearest Neighbors) and achieved the maximum classification performance of an accuracy of 88.03%, a sensitivity of 93.60%, and a specificity of 84.50%. Consequently, the proposed method based on MLP classifier in this study results in an acceptable classification performance than similar studies in the literature.

Two artificial neural network models were experimented to decide whether the selected wart treatment method will be successful or not in this paper. The achieved results highlighted that MLP-based expert system has a great potential to decrease the cost of treatment by reducing the time before deciding the treatment method for patients drastically. According to these results, we may propose that our approach based on multi-layer perceptron provides a better tool to predict the success of wart treatment methods. The benefits of this system are multifold: assisting physicians in selecting the treatment method, saving time for patients, reducing the treatment cost, and improving the quality of treatment.

Table 2. The comparison of classifier performances of sensitivity (SEN), specificity (SPE), and accuracy (ACC). The algorithm-specific value (the number of neurons in the hidden layer, the number of neighbors, etc.) is given in the parenthesis if available.

Study	Methods	SEN (%)	SPE (%)	ACC (%)
Khozeimeh et al. 2017a	Fuzzy Rules	-	-	83.33
Uzun et al. 2018a	Naive Bayes	68.43	67.61	67.78
Uzun et al. 2018b	KNN (k=7)	15.79	97.19	80.00
	SVM	47.37	95.78	85.46
Talabani & Avci 2018	Pearson Function Based Universal Kernel (PUK)	77.05	89.06	89.44
Putra et al. 2018	AdaBoost (CART)	96.64	93.10	93.89
Khatiri et al. 2018	J48	81.97	90.76	87.78
	J48 + GA	95.08	97.52	96.72
Abdar et al. 2019	IAPSO + IARS	-	-	90.00
Uzun et al. 2019	Logistic Regression (n=10, 14)	26.32	94.37	80.00
	Decision Tree (n=14)	52.63	94.37	85.56
Rahmat et al. 2019	KNN (k=1)	93.60	84.50	88.03
This study	ELM (n=16)	36.85	90.15	78.89
	MLP (n=43)	78.95	98.60	94.45

4. Conclusion

The experimental studies conducted on the combined dataset of cryotherapy and immunotherapy datasets show that the multi-layer perceptron (MLP) algorithm can provide higher performance than previous studies. The study that results in a better performance than our study applied feature selection algorithms. For future works, we will apply feature selection algorithms and other well-known classifiers.

5. References

- Abdar, M., Wijayaningrum, V. N., Hussain, S., Alizadehsani, R., Plawiak, P., Acharya, U. R., Makarenkov, V. 2019. IAPSO-AIRS: A Novel Improved Machine Learning-Based System for Wart Disease Treatment. *J. Med. Syst.*, 43(7): 220. <https://doi.org/10.1007/s10916-019-1343-0>.
- Akben, S. B. 2018. Predicting the Success of Wart Treatment Methods Using Decision Tree Based Fuzzy Informative Images. *Biocybern. Biomed. Eng.*, 38(4): 819-827. <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2018.06.007>.
- Bunte, K., Biehl, M., Jonkman, M. F., Petkov, N. 2011. Learning Effective Color Features for Content Based Image Retrieval in Dermatology. *Pattern Recognit.*, 44: 1892-1902. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2010.10.024>.
- Carman, K. B., Saglam, H., Carman, E., Ekici, A., Arslantas, D. 2013. Eskisehirde Bir Grup Okul Cocugunda Sigil Sikligi. *Turkiye Klinikleri J Pediatr*, 22(2): 66-69.
- Clifton, M. M., Johnson, S. M., Roberson, P. K., Kincannon, J., Horn, T. D. 2003. Immunotherapy for Recalcitrant Warts in Children Using Intralesional Mumps or Candida Antigens. *Pediatr Dermatol.*, 20: 268-271. <https://doi.org/10.1046/j.1525-1470.2003.20318.x>.
- Duda, R. O., Hart, P. E., Stork, D. G. 2000. *Pattern Classification, 2nd edition*, Wiley-Interscience.
- Flores, E., Scharcanski, J. 2016. Segmentation of Melanocytic Skin Lesions Using Feature Learning and Dictionaries. *Expert Syst Appl.*, 56: 300-309. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.02.044>.
- Gamil, H., Elgharib, I., Nofal, A., Abd-Elaziz, T. 2010. Intralesional Immunotherapy of Plantar Warts: Report of a New Antigen Combination. *J. Am. Acad. Dermatol.*, 63: 40-43. <http://doi.org/10.1016/j.jaad.2009.07.023>.
- Giotis, I., Molders, N., Land, S., Biehl, M., Jonkman, M. F., Petkov, N. 2015. MED-NODE: A Computer-Assisted Melanoma Diagnosis System Using Non-Dermoscopic Images. *Expert Syst. Appl.*, 42: 6578-6585. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.034>.
- Horn, T. D., Johnson, S. M., Helm, R. M., Roberson, P. K. 2005. Intralesional Immunotherapy of Warts with Mumps, Candida, and Trichophyton Skin Test Antigens: A Single-Blinded, Randomized, and Controlled Trial. *Arch. Dermatol.*, 141: 589-594. <http://doi.org/10.1001/archderm.141.5.589>.
- Hosrik, M. E. 2010. *Dua ve Plasebonun Sigiller Uzerindeki Etkisi*. Ankara University Institute of Social Sciences, Doctorate Thesis, Ankara.


- Huang, G. B., Zhoui, H., Ding, X., Zhang, R. 2004.** Extreme Learning Machine for Regression and Multiclass Classification. *2004 IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, Budapest, Hungary. <http://doi.org/10.1109/TSMCB.2011.2168604>.
- Huang, G. B., Zhu, Q. Y., Siew, C. K. 2006.** Extreme Learning Machine: Theory and Applications. *Neurocomputing*, 1(3): 489-501. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2005.12.126>.
- Huang, G. B., Zhu, Q. Y., Siew, C. K. 2012.** Extreme Learning Machine: A New Learning Scheme of Feedforward Neural Networks. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 42(2): 513-529. <http://doi.org/10.1109/IJCNN.2004.1380068>.
- Jain, S., Jagtap, V., Pise, N. 2015.** Computer Aided Melanoma Skin Cancer Detection Using Image Processing. *Procedia Comput. Sci.*, 48: 735-740. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.209>.
- James, W. D., Berger, T. G., Elston, D. M. 2011.** *Viral Diseases. Andrews's Diseases of the Skin: Clinical Dermatology*, 11th Edition, Toronto, Saunders Elsevier.
- Jia, W., Deng, Y., Xin, C., Liu, X., Pedrycz, W. 2019.** A classification algorithm with Linear Discriminant Analysis and Axiomatic Fuzzy Sets. *Math. Found. Comput.*, 2(1): 73-81. <http://doi.org/10.3934/mfc.2019006>.
- Khatri, S., Arora, D., Kumar, A. 2018.** Enhancing Decision Tree Classification Accuracy Through Genetically Programmed Attributes for Wart Treatment Method Identification. *Procedia Comput. Sci.*, 132: 1685-1694. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.141>.
- Khozeimeh, F., Jabbari Azad, F., Mahboubi Oskouei, Y., Jafari, M., Tehrani, S., Alizadehsani, R., Layegh, P. 2017a.** Intralesional Immunotherapy Compared to Cryotherapy in the Treatment of Warts. *Int. J. Dermatol.*, 56(4): 474-478. <https://doi.org/10.1111/ijd.13535>.
- Khozeimeh, F., Alizadehsani, R., Roshanzamir, M., Khosravi, A., Layegh, P., Nahavandi, S. 2017b.** An Expert System for Selecting Wart Treatment Method. *Comput. Biol. Med.*, 81: 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2017.01.001>.
- Kocer, S., Canal, M. R. 2011.** Classifying Epilepsy Diseases Using Artificial Neural Networks and Genetic Algorithm. *J. Med. Syst.*, 35(4): 489-498. <https://doi.org/10.1007/s10916-009-9385-3>.
- Lamminen, H., Ruohonen, K., Uusitalo, H. 2001.** Visual Tests for Measuring the Picture Quality of Teleconsultations for Medical Purposes. *Comput. Meth. Prog. Biomed.*, 65: 95-110. [https://doi.org/10.1016/s0169-2607\(00\)00120-6](https://doi.org/10.1016/s0169-2607(00)00120-6).
- Lipke, M. M. 2006.** An Armamentarium of Wart Treatments. *Clin. Med. Res.*, 4: 273-293. <https://doi.org/10.3121/cmr.4.4.273>.
- Maronn, M., Salm, C., Lyon, V., Galbraith, S. 2008.** One-year Experience with Candida Antigen Immunotherapy for Warts and Molluscum. *Pediatr. Dermatol.*, 25: 189-192. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1470.2008.00630.x>.
- McGibbon, D. 2006.** Rook's textbook of dermatology (7th edition). *Clin. Exp. Dermatol.*, 31: 178-179.
- Mirzaalian, H., Lee, T. K., Hamarneh, G. 2016.** Skin Lesion Tracking Using Structured Graphical Models. *Med. Image Anal.*, 27: 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.media.2015.03.001>.
- Nofal, A., Nofal, E. 2010.** Intralesional Immunotherapy of Common Warts: Successful Treatment with Mumps Measles and Rubella Vaccine. *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.*, 24: 1166-1170. <https://doi.org/10.1111/j.1468-3083.2010.03611.x>.
- Oliveira, R. B., Marranghello, N., Pereira, A. S., Tavares, J. M. R. S. 2016.** A Computational Approach for Detecting Pigmented Skin Lesions in Macroscopic Images. *Expert Syst. Appl.*, 61:53-63. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.05.017>.
- Pan, S., Iplikci, S., Warwick, K., Aziz, T. Z. 2012.** Parkinsons Disease Tremor Classification-a Comparison between Support Vector Machines and Neural Networks. *Expert Syst. Appl.*, 39(12): 10764-10771. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.02.189>.
- Putra, M. A., Setiawan, N. A., Wibirama, S. 2018.** Wart Treatment Method Selection Using AdaBoost with Random Forests as a Weak Learner. *Communications in Science and Technology*, 3(2): 52-56. <https://doi.org/10.21924/cst.3.2.2018.96>.
- Rahmat, G. A., Primartha, R., Wijaya, A. 2019.** Comparative Analysis of Classification Method for Wart Treatment Method. IOP Publishing, *In Journal of Physics: Conference Series*, 1196(1): 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1196/1/012012>.
- Russell, D. W., McCann, W. A., Maroncelli, H. E. 2010.** Candida and Subsequent Cell Mediated-Panel Driven Intralesional Immunotherapy of Common Warts in Children and Adults. *J. Allergy Clin. Immunol.*, 125(2): AB204. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.12.798>.
- Shrivastava, V. K., Londhe, N. D., Sonawane, R. S., Suri, J. S. 2015.** Exploring the Color Feature Power for Psoriasis Risk Stratification and Classification: A Data Mining Paradigm. *Comput. Biol. Med.*, 65: 54-68. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2015.07.021>.
- Silverberg, N. B., Lim, J. K., Paller, A. S., Mancini, A. J. 2000.** Squaric Acid Immunotherapy for Warts in Children. *J. Am. Acad. Dermatol.*, 42: 803-808. <https://doi.org/10.1067/mjd.2000.103631>.
- Sumithra, R., Suhil, M., Guru, D. S. 2015.** Segmentation and Classification of Skin Lesions for Disease Diagnosis. *Procedia Comput. Sci.*, 45: 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.090>.

- Talabani, H., Avci, E. 2018.** Impact of Various Kernels on Support Vector Machine Classification Performance for Treating Wart Disease. In 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), 1-6. <https://doi.org/10.1109/IDAP.2018.8620876>.
- Uzun, R., Toksan, M., Isler, Y. 2018a.** Use of Support Vector Machines to Predict the Success of Wart Treatment Methods. *ASYU2018*, 4-6 October, Adana, Turkey. <https://doi.org/10.1109/ASYU.2018.8554010>.
- Uzun, R., Toksan, M., Isler, Y. 2018b.** Choose of Wart Treatment Method Using Naive Bayes and K-Nearest Neighbors Classifiers. *SIU2018, IEEE*, 2-5 May, Cesme, Izmir, Turkey. <https://doi.org/10.1109/SIU.2018.8404398>.
- Uzun, R., Isler, Y., Toksan, M. 2019.** Use of WEKA software package to predict the success of wart treatment methods. *Düzce Üniv. Bilim ve Tek. Derg.*, 7(1): 699-708. <https://doi.org/10.29130/dubited.448330>.
- Varol, G. 1998.** Yaygın Verruca Vulgaris ve Verruca Plantaris Tedavisinde Oral Rantidin'in Etkinliği. *Deri ve Zührevi Hastalıklar Anabilim Dalı Başkanlığı, GATA Military Medicine Faculty*, Ankara, Türkiye.



Bakır Oksit Nanopartiküllerinin *Galleria mellonella* Larvaları Üzerine İmmün ve Metabolik Etkileri

Immune and Metabolic Effects of Copper Oxide Nanoparticles on Galleria mellonella L. Larvae

Benay Sezer Tunçsoy* 

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Adana, Türkiye

Öz

Bu çalışmada bakır oksit nanopartiküllerinin (CuO NP) LD₅₀ konsantrasyonunun etkisinde *Galleria mellonella* larvalarının orta barsak ve yağ dokularındaki protein, glikojen ve lipit miktarları ile immün sistemde önemli bir parameter olan total hemosit sayısı üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

CuO NP' nin *G. mellonella* orta barsak ve yağ dokusundaki protein miktarında istatistiki açıdan fark gözlenmezken, glikojen ve lipit miktarlarında azalma meydana getirdiği tespit edilmiştir. Total hemosit sayısında ise, CuO NP' nin etkisinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, CuO NP' nin immün ve metabolik sistemler üzerinde toksik etkilere neden olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bakır oksit nanopartikülleri, Glikojen, Lipit, Protein, Total hemosit sayısı

Abstract

The aim of this study was to determine the effect of LD₅₀ concentration of copper oxide nanoparticles (CuO NPs) on the amount of protein, glycogen and lipid in the midgut and fat body of *Galleria mellonella* larvae and total hemocyte count which is an important parameter in the immune system.

While CuO NPs were not statistically different protein content in midgut and fat body of *G. mellonella*, it was found that glycogen and lipid contents were decreased. As for, total hemocyte count decreased when CuO NPs were applied to the diet. In conclusion, it was shown that CuO NPs caused toxic effects on immune and metabolic systems of *G. mellonella*.

Keywords: Copper oxide nanoparticles, Glycogen, Lipid, Protein, Total hemocyte count

1. Giriş

Son yıllarda ağır metaller, madencilik, boya, plastik, cam sanayi, metal kaplama, tarım alanlarında pestisit ve yapay gübre olarak sıklıkla kullanılmakta, sonuç olarak çevre ve hedef olmayan canlılar üzerinde toksik etkilere neden oldukları bilinmektedir.

Nanomateriyaller, yüzey alanlarının geniş olması ve yüksek reaksiyon aktiviteleri ile son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir. Nanoteknolojinin hızlı gelişim göstermesi sonucu çeşitli boyut ve çaplardaki bu nanomateriyaller ticari ve endüstriyel alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Amelia vd., 2012, Tang vd., 2012). Metal bazlı nanomateriyaller ise, birçok endüstri alanları ile biyoteknoloji ve tıp

alanlarında görüntüleme sıklıkla kullanılmakta ve çevreyi kirletmektedir.

Metal oksit nanopartikülleri, çeşitli ticari ürünlerde diğer nanopartiküllere kıyasla en fazla kullanılan nanopartiküllerdir ve potansiyel toksisiteleri bakımından çevre ve insan sağlığı açısından büyük tehdit oluşturmaktadır (Aschberger vd., 2011). Biyolojik membranlardan rahatlıkla geçebilen nanopartiküller organ, doku ve hücrede moleküler düzeyde olumsuz etkilere neden olabilmektedirler (Schrand vd., 2010).

Yüksek düzeyde termal ve elektriksel iletkenliği olması nedeniyle metal oksit nanopartikülleri arasında bakır oksit nanopartikülleri (Cu NP) en yaygın kullanılan nanopartiküllerdir. Cu NP makinelerde ısı transfer akışında (Chang vd., 2005), polimerler, plastikler ve gaz sensörlerinde (Li vd., 2007), ahşap koruma ve basım makinelerinin elektronik aksamalarında (Lee vd., 2008) ve mikroçip ve pillerin kapla-

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: btuncsoy@atu.edu.tr

masında (Dhas vd., 1998) yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak antimikrobiyal özellikleri nedeniyle Cu NP bazı cilt bakım ürünleri ve tekstilde de kullanıldığı bilinmektedir.

Çalışmada model organizma olarak kullanılan *Galleria mellonella* L., arıcılık yapılan bölgelerde, arı kovanlarında, peteklerde ve depolanmış bal mumunda büyük zararlar vermekte ve verimin düşmesine neden olmaktadır. *G. mellonella* larvalarının ticari yönden üretime uygun olması, oda sıcaklığında üretiminin kısa sürede yapılabilmesi ve ucuz olması, ayrıca etik sorunlara yol açmaması bu türü deneysel çalışmalarda kullanılan diğer türlerden ayırt etmektedir. Bunun yanı sıra, *G. mellonella*'nın memelilerle benzer doğal bağışıklık sistemine sahip olması da onun uygun bir model organizma olabildiğini sağlamaktadır.

Bu amaç kapsamında, *G. mellonella* son evre larvalarının orta barsak ve yağ dokularında bakır oksit nanopartiküllerinin subletal konsantrasyonunun protein, glikojen ve lipit miktarları ile hemosit sayıları üzerine etkileri belirlenmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Böcek Kültürü

G. mellonella larvaları, 28 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65 \pm 5$ bağıl neme sahip laboratuvar koşullarında yarı sentetik besin kültüründe yetiştirildi (Bronskill, 1961). Hazırlanan besin içerisinde son evreye gelen larvalar besin ortamından alınarak deneyde kullanıldı (n=20). Deney kaplarının üst kısımları hava sirkülasyonunu sağlamak amacıyla eşit miktarda delindi. Kontrol ve uygulama grupları, 72 saatlik deney süresi tamamlanana kadar her gün ölüm olup olmadığının tespiti için kontrol edildi.

2.2. Toksikite Testi

Besin ortamından alınan üçüncü evre larvalar, kontrol grubu ve uygulama grupları olmak üzere iki gruba ayrılarak, içerisinde bakır oksit nanopartiküllerinin 0.1 ve 10000 mg/L konsantrasyonlarının olduğu besin ortamına aktarıldı. Uygulama yapılan gruplarda $\%100$ ölüm olana kadar denemeler devam ettirildi, tüm böceklerin öldüğü gün ve derişimlere göre probit analizi yöntemiyle, CuO NP' in *G. mellonella* larvaları için LD değerleri SPSS 21 istatistik programı kullanılarak hesaplandı (Finney, 1971). Uygulama yapılan her bir grupta 20 adet larva yer aldı.

2.3. Deney Sistemlerinin Hazırlanması

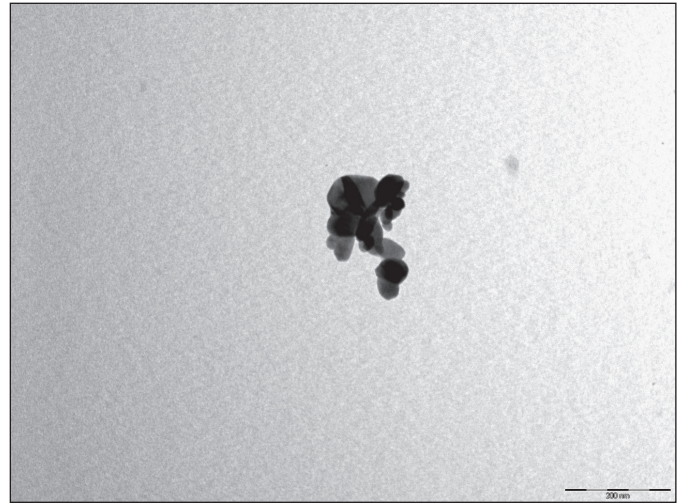
Stok kültürden alınan 3. evre larvaların, içerisinde CuO NP' nin LD₅₀ konsantrasyonunu içeren deney kaplarında

beslenmeleri sağlandı. Son evreye gelen larvalar deney ortamından alınarak buz üzerinde 2-3 dakika bekletildikten sonra, $\%95$ etil alkol ile dezenfekte edildi. Daha sonra larvalar sırt kısmı strafora gelecek şekilde sabitlenerek birinci çift torasik bacaklarının önünden orta eksen boyunca uzunlamasına mikro makas (Bahadır, düz makas, 16 cm) ile kesildi. İlk önce yağ doku bir pens yardımıyla izole edildi, daha sonra orta barsak ayrıldı. İzole edilen yağ doku ve orta barsak, içerisinde homojenizasyon tamponu (20 mM; pH 7.6) bulunan ependorf tüplere aktarıldı. Orta barsak Ultra Turrax marka homojenizatörde 5 dakika süreyle, yağ doku ise ultrasonik homojenizatörde (10 sn., 30 W) homojenize edildikten sonra, 12.000 g, $+4^{\circ}\text{C}$ ' de, 45 dk. süreyle santrifüj edildi. Bu işlem sonunda elde edilen supernatant, analizler yapıncaya kadar -80°C ' de saklandı.

2.4. Bakır Oksit Nanopartikül Karakterizasyonu

Deneylerde partikül büyüklüğü 50 nm'den küçük olan bakır oksit nanopartikülü (Sigma-Aldrich) kullanılmıştır. CuO NP çözeltinin derişimi 100 mg/L olacak şekilde ultra saf su hem içerisinde çözülmüştür. Elde edilen karışım analizden hemen önce 15 dakika süreyle ultrasonik banyoda sonikasyona bırakılmış ve ardından analiz işlemine geçilmiştir.

Transmisyon elektron mikroskobu (TEM) analizleri için ultra saf su ile hazırlanan 100 mg/L CuO NP sonikasyona bırakılmış ardından üzeri karbon tabaka ile kaplanarak oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Partikül boyut aralığı JEOL (JEM-1011) mikroskopta görüntü analiz yazılımı (Soft Imaging System) kullanılarak rastgele seçilmiş 60 nanopartikül analizi ile belirlenmiştir.



Şekil 1. CuO NP'nin Transmisyon elektron mikroskobu görüntüsü.

Çizelge 1. CuO nanopartikül karakterizasyonu (Ortalama \pm Standart hata).

Partikül özelliği	Metod	Ultra saf su
Boyut (nm)	TEM	< 50 ^a
Partikül Boyut dağılımı (nm)	TEM	33.0 \pm 8.3 ^b
Hidrodinamik çap (nm)	DLS	586.6 \pm 89.4 ^b
Zeta potansiyeli (mV)	ELS	-17.1 \pm 0.4 ^b

^aSigma-Aldrich, ^b100 mg/L CuO NP.

2.5. Total Glikojen Miktarının Saptanması

Glikojen özütlerinin hazırlanmasında, barsak ve yağ dokunun homojenizasyon ve santrifüj işlemlerinden sonra elde edilen supernatanta iki katı kadar %96'lık etil alkol ilave edildi ve 37°C' de 24 saat süre boyunca bekletildi. Süre sonunda 3500 g' de 30 dk. santrifüj edildi. Santrifüj sonunda supernatant kısım atılarak kalan pellet içerisindeki total glikojen miktarı spektrofotometrik yöntemle 620 nm. dalga boyunda belirlendi (Roe vd., 1961).

2.6. Total Protein Tayini

Protein miktarının tayininde bovin serum albüminin substrat olarak kullanıldığı Bradford (1961) yöntemi uygulandı. Renklendirilmiş çözeltilinin absorbanı 595 nm. dalga boyunda ölçüldü.

2.7. Lipit Miktarının Tayini

Lipit miktarının tayininde Van Handel (1985) metodu kullanıldı. 200 mL supernatant kloroform/metanol (1:2) ile karıştırıldı ve 90°C su banyosunda buharlaşmaya kadar ısıtıldı. Daha sonra, 40 µl konsantre sülfürik asit çözeltisi ilave edildi ve üzerine 960 µl vanilin-fosforik asit reaktifi eklendi. Absorbans değerleri spektrofotometrik yöntem ile 525 nm. dalga boyunda okundu. Standart olarak %0.1' lik soya yağı kullanıldı.

2.8. Hemolenfin Elde Edilmesi ve Total Hemosit Sayısı

Deney ortamından alınan son evre larvalar hareketlerinin yavaşlaması amacıyla 3 dk. buz üzerinde bekletildi. Daha sonra, larvalar %95'lik etanol ile dezenfekte edildi ve birinci arka bacak üstünden ince uçlu diseksiyon iğnesi ile delinip mikropiller tüp (SIGMA) yardımıyla 5 µl hemolenf elde edildi. Hemolenf, melanizasyona izin vermeden hızlı bir şekilde daha önce alkolle temizlenmiş lamlar üzerine alınarak yayıldı ve oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı. Daha sonra fiksasyon işlemi için lamlar 5 dakika süre ile metanol: asetik asit (3:1) çözeltisi içinde bekletildi. Boyama çözeltisinin

hazırlanabilmesi için, 3 ml giemsa boya solüsyonu, içerisinde 57 ml PBS (pH 7.4) bulunan lam boyama kaplarına yavaşça damlatılarak karıştırıldı ve 10 dakika bekletildi. Tespit işleminden sonra kurutulan lamlar giemsa boya çözeltisi içine alınarak 15 dakika süresince boyanmaları sağlandı. Kuruma işleminden sonra ksilolden geçirilerek tekrar kurumaya bırakıldı. Daha sonra, entellan ile kapatılarak Leica DM750 marka mikroskopta hemosit tipleri belirlenerek sayım işlemi yapıldı.

Elde edilen hemolenf örneğinden 4 µl alınarak, buz üzerinde bekletilen ve içerisinde 36 µl antikoagulant (0.098 M NaOH, 0.186 M NaCl, 0.017 M Na₂EDTA ve 0.041 M Sitrik asit, pH=4.5) bulunan ependorf tüplerine aktarılmıştır. 1:10 oranında seyreltme yapılan hücre süspansiyonundan 10 µl alınarak Neubauer hemositometresine yüklenmiştir. Hemositler, Leica DM750 marka mikroskopta sayılarak, bir mililitre hemolenfteki hemosit sayısı belirlenmiştir. Sayılan hemositler, Jones (1962) metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

2.9. İstatistiksel Analizler

Kontrol grubu ve CuO NP uygulanmış gruplar arasındaki istatistiksel veriler SPSS 21.0 bilgisayar programında t testi kullanılarak değerlendirilmiştir. P<0.05 değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

3. Sonuçlar

3.1. Toksikite Testi

G. mellonella son evre larvaları için CuO NP' nin LD₅₀ değeri 136 µg/ml olarak belirlenmiştir. %95'lik güvenilirlik limitleri 63-299 µg/ml değerleri arasında tespit edilmiştir.

3.2. CuONP'nün LD₅₀ konsantrasyonunun *G. mellonella* Orta barsak ve Yağ Dokusunda Protein, Glikojen ve Lipit Miktarına Etkileri

Yapılan istatistiksel analiz sonucunda, *G. mellonella* orta barsak ve yağ dokusundaki protein miktarları arasındaki fark anlamlı bulunmamıştır (p>0.05).

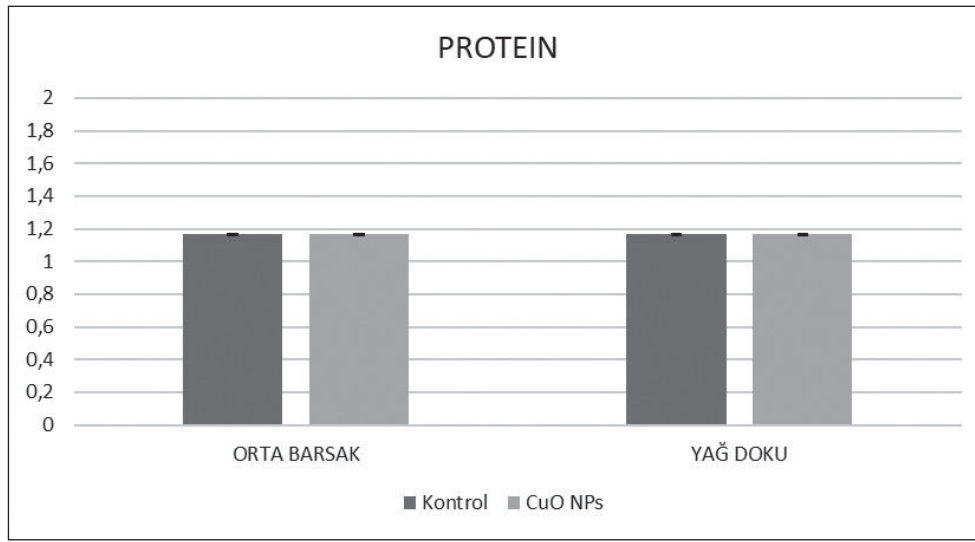
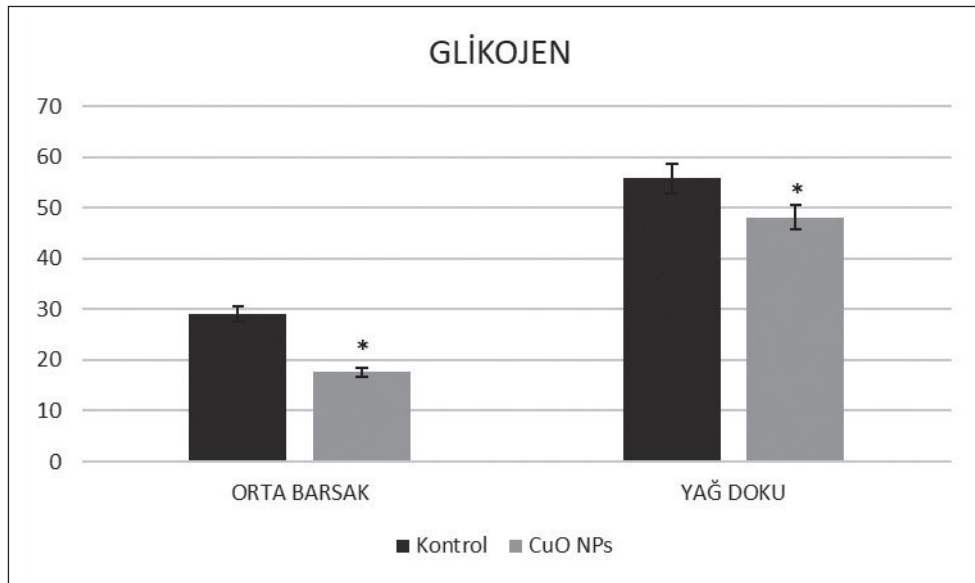
CuO NP' in LD₅₀ konsantrasyonunu içeren besin ile beslenen larvaların orta barsak ve yağ dokusunda glikojen miktarında kontrol grubuna kıyasla sırasıyla % 39.3 ve % 13.6 oranlarında azalma gözlemlenmiştir (p<0.05) (Çizelge 2, Şekil 3).

CuO NP' in LD₅₀ konsantrasyonunda besin ile beslenen larvaların orta barsak ve yağ dokusundaki lipit miktarlarında kontrol grubuna kıyasla sırasıyla % 24.6 ve % 33.7 oranlarında azalma tespit edilmiştir (p<0.05) (Çizelge 2, Şekil 4).

Çizelge 2. CuO NP' nün LD₅₀ konsantrasyonunun *G. mellonella* larvalarının protein, glikojen ve lipit miktarları üzerine etkileri.

Konsantrasyon (µg/mL)	Protein Miktarı (mg/protein) (Ort ± SH)		Glikojen Miktarı (mg/protein) (Ort ± SH)		Lipit Miktarı (mg/protein) (Ort ± SH)	
	Orta Barsak	Yağ Doku	Orta Barsak	Yağ Doku	Orta Barsak	Yağ Doku
Kontrol	1.169±0.0003 a	1.169±0.0005 a	29.07±1.208 a	55.77±1.135 a	63.36±0.909 a	84.92±0.138 a
CuO NP	1.168±0.0001 a	1.168±0.0001 a	17.64±1.7222 b	48.15±0.537 b	47.74±0.210 b	56.26±2.194 b

(Ort ± SH): 3 tekrarın ortalaması,

Farklı harflerle gösterilen veriler arasında $P < 0.05$ düzeyinde istatistik ayırım vardır (*t* testi).**Şekil 2.** CuO NP' nin LD₅₀ konsantrasyonunu içeren besinin, *G. mellonella* protein miktarına etkileri.**Şekil 3.** CuO NP' nin LD₅₀ konsantrasyonunu içeren besinin, *G. mellonella* larvalarında glikojen miktarına etkileri.

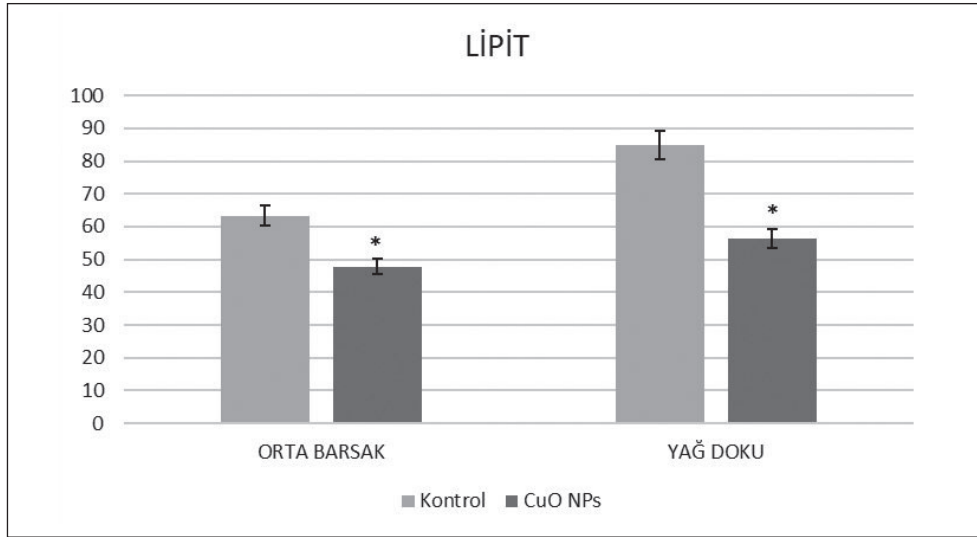
3.3. CuONP'nün LD₅₀ konsantrasyonunun *G. mellonella* hemolenfindeki total hemosit sayısı üzerine etkileri

CuO NP' nin LD₅₀ konsantrasyonunu içeren besin ile beslenen larvaların hemolenfinde total hemosit sayısında kontrol grubuna oranla azalma meydana gelmiştir (p<0.05) (Şekil 5).

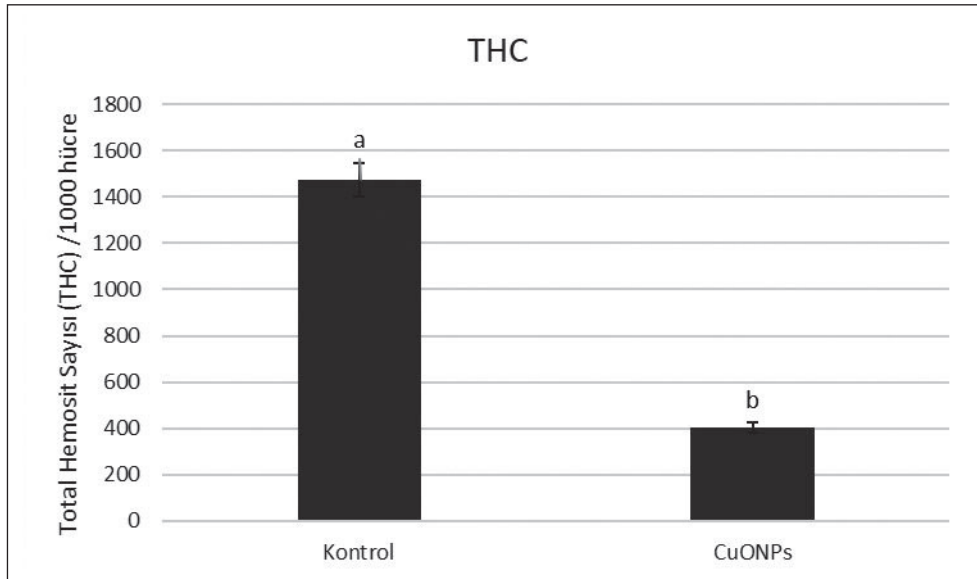
4. Tartışma ve Öneriler

Enerji kaynakları olarak besin maddelerinin, total karbonhidratların, lipitlerin ve proteinlerin miktarı böcek popülasyonunu büyük ölçüde etkilemektedir (Hogervorst vd., 2007). Bunların arasında ağır metal toksisitesinin belirlenmesinde en önemli parametrelerden biri glikojendir.

(Dadd, 1985, Lagadic vd., 1994). Glikojen, yüksek metabolik ve fizyolojik aktivite sonucunda dokularda birikmekte ve kontaminasyon seviyesini belirlemektedir (Lagadic vd., 1994). Lipitler ise böcekler için yumurta üretiminde ve enerji kaynağı olarak görev yapmaktadır (Ryan ve Van der Horst 2000). Vücuttaki rezervler için kullanılan lipitlerin miktarı, besinlerin yakalanması ile büyüme ve üreme gibi prosesler tarafından rezerv talepleri arasındaki dengenin bir sonucu olarak gözükmekte ve bu denge herhangi bir toksik ürün tarafından bozulabilmektedir (Canavoso vd., 2001). Ayrıca böcekler, ağır metallerin ekosistemdeki biyobirikimi ve biyotransferi ile ilgili çalışmalarda biyoindikatör olarak kullanılmaktadır (Banville vd., 2012, Dere, 2015). Ağır metallerin vücuda alınması sonucunda



Şekil 4. CuO NP' nin LD₅₀ konsantrasyonunu içeren besinin, *G. mellonella* larvalarında lipit miktarına etkileri.



Şekil 5. CuO NP' nin LD₅₀ konsantrasyonunu içeren besinin, *G. mellonella* larvalarının hemolenfindeki total hemosit sayısı üzerine etkileri.

meydana gelen toksisiteye karşı oluşan yanıtın ağır metalin türüne, konsantrasyona, böceğin türüne, gelişim evresine bağlı olarak değişmekle birlikte, toksisite sonucunda oluşan fizyolojik etkilerin de gelişmeyi, büyümeyi, yaşam süresini, üretkenliği, yumurta verimini ve yumurta açılımını azalttığı bilinmektedir. (Moe vd., 2001, Cervera vd., 2004, Wu vd., 2006).

Yapılan çalışmada, CuO NP' nin LD₅₀ konsantrasyonunun *G. mellonella* orta barsak ve yağ dokusundaki protein miktarında istatistiki olarak bir değişime neden olmadığı, glikojen ve lipit miktarlarında ise azalma meydana getirdiği belirlenmiştir. Organizmalardaki metabolik süreçler toksik maddeler tarafından önemli derecede etkilenmektedir. Enerji metabolizması ağır metallerin neden olduğu stres ile baş etmede önemli rol oynamaktadır. Böceklerde ağır metallerin metabolik faaliyetler üzerine etkileri ile ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmakla birlikte, nanopartiküllerin etkileri ile ilgili çalışmalar kısıtlıdır. Spring vd. (1977)'a göre ağır metal toksisitesi sonucunda glikojen miktarındaki azalma adaptif mekanizma olan glikolizis ile ilgilidir. Emre vd. (2013), *G. mellonella* larvaları ile yaptıkları bir çalışmada artan kadmiyum konsantrasyonuna bağlı olarak protein, lipit ve glikojen miktarlarında azalma meydana geldiğini bildirmiştir. *Lymantria dispar* (L.) larvalarında ağır metal uygulaması sonucunda hemolenf ve total vücut dokusunda trehaloz ve glikojen miktarlarında önemli derecede azalma meydana geldiği tespit edilmiştir (Bischof, 1995). Herhangi bir toksisite sonucunda organizmadaki fizyolojik olaylara bağlı olarak, lipit ve karbohidratlar böcek vücudunda depolanabilmekte veya enerji kaynağı olarak kullanılabilir (Miranda vd., 2003). Bu nedenle, glikojen miktarındaki azalma CuO NP' nin detoksifikasyonunun bir sonucu olarak meydana gelmiş olabilir. Yapılan çalışmada lipit miktarında meydana gelen azalmanın nedeninin ise, organizmaların çevresel kontaminasyonlara maruz bırakıldıklarında lipitlerin ilk enerji kaynağı olarak kullanılması ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, lipit miktarındaki azalmanın artan lipid peroksidasyon seviyesine bağlı olarak hücre membranında oluşan oksidatif hasar nedeniyle meydana gelmiş olabileceği de düşünülmektedir (Novais vd., 2013). *Glyphodes pyloalis* ile yapılan çalışmaya göre, TiO₂ nanopartiküllerine maruz kalması sonucunda total lipit ve karbohidrat miktarlarının önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir (Memarizadeh vd., 2014). Amorim vd. (2012), *Enchytraeus albidus* türünde enerji kaynaklarının (lipitler, karbohidratlar ve proteinler) CuO NP maruziyeti sonucunda azaldığı bildirilmiştir. Enerji kaynaklarındaki azalma ayrıca hem azalan besin

tüketiminden hem de artan metabolik aktivite nedenleriyle de meydana gelmiş olabileceği düşünülmektedir (De Coen ve Janssen, 2003, Novais vd., 2013). Li vd. (2011) göre, TiO₂ ve Al₂O₃ nanopartikülleri, *Ceriodaphnia dubia*' nin enerji asimilasyonunu ve enerji tüketimini önemli derecede engellemiştir.

CuO NP' nin *G. mellonella* larvalarında hemosit sayısı üzerine etkilerinin de incelendiği çalışmada, CuO NP' nin LD₅₀ konsantrasyonuna maruz kalan larvaların total hemosit sayısında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Zorlu vd. (2015) *G. mellonella* larvalarında TiO₂ NP' nin hemositler üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada total hemosit sayısında azalma meydana getirdiğini belirlemişlerdir. İnsektisitler ve ağır metaller gibi böceklerde toksik etkilere neden olan kimyasal faktörler hematopoietik organlardan hemositlerin salınımını baskılamakta ve bu organların fonksiyonlarının inhibisyonu sonucunda sitotoksik etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle, böcek vücuduna giren metal oksit nanopartikülünün enkapsülasyon ve nodül oluşumuna neden olduğu ve hemositlerin kümeleşmesine yol açarak total hemosit sayısında azalma meydana getirdiği düşünülmektedir. Ayrıca, yaptığımız çalışmada, hemosit sayısındaki azalmanın glikojen ve lipit miktarlarındaki azalma ile bağlantılı olabileceği düşünülmektedir. Hemositler, intermediyer metabolizmanın ve metabolitlerin depo edildiği yerdir. Karbohidratlar, hemositlerde mukin (doğal glikoproteinler) olarak ya da sülfat veya sialik asit kalıntıları ile asidik formda depo edilirler. Babers (1941), *Prodenia* larvaları ile yaptığı bir çalışmada glikoz ve nişastadan oluşan besin ile beslendiğinde glikojenin hemositler ve plazma arasında yayılarak hemositlerde biriktiğini bildirmişlerdir. Yeager ve Munson (1942) *Prodenia eridania* larvalarında arsenik, florit ve merkür kloridin kan hücrelerindeki glikojen miktarında azalma meydana getirdiğini tespit etmişlerdir. Yaptığımız çalışmada hemosit sayısındaki azalmanın aksine *Spodoptera littoralis* larvaları ile yapılan bir çalışmada, Ag NP ve ZnO NP' nin larva ve pupa evrelerinde total hemosit sayısında artış meydana getirdiğini, total protein, karbohidrat ve lipit miktarlarında ise azalma görüldüğünü bildirmişlerdir (İbrahim ve Ali 2018). Borowska ve Pyza (2011), ağır metallerin hemositler üzerindeki toksik etkilerinin ve etki seviyelerinin; metal tipine, maruz kalınan doza, metalin organizmaya alınma şekline ve diğer çevresel faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak, CuO NP' nin subletal konsantrasyonunun *G. mellonella* son evre larvalarında metabolik faaliyetler ve immün sistem üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu tespit edilmiştir.

5. Kaynaklar

- Amelia, M., Lincheneau, C., Silvi, S., Credi, A. 2012.** Electrochemical properties of CdSe and CdTe Quantum Dots. *Chem. Soc. Rev.*, 41:5728- 5743. Doi:10.1039/C2CS35117J
- Amorim, MJB., Gomes, SIL., Soares, AMVM., Scott-Fordsmand, JJ. 2012.** Energy basal levels and allocation among lipids, proteins, and carbohydrates in *Enchytraeus albidus*: changes related to exposure to Cu salt and Cu nanoparticles. *Water Air Soil Pollut.* 223, 477-482. Doi: 10.1007/s11270-011-0867-9
- Aschberger, K., Micheletti, C., Sokull-Kluttgen, B., Christensen, FM. 2011.** Analysis of currently available data for characterising the risk of engineered nanomaterials to the environment and human health lessons learned from four case studies. *Environ. Int.*, 37(6):1143-1156. Doi: 10.1016/j.envint.2011.02.005.
- Babers, FH. 1941.** Glycogen in *Prodenia eridania*, with special reference to the ingestion of glucose. *J. Agric. Res.* 62:509-530.
- Bischof, C. 1995.** Effects of heavy metal stress on carbohydrate and lipid concentrations in the haemolymph and total body tissue of parasitized *Lymantria dispar* L. larvae (Lepidoptera). *Comp. Biochem. Physiol.* 112C: 1, 87-92. Doi: 10.1016/0742-8413(95)00079-8
- Borowska, J., Pyza, E. 2011.** Effects of heavy metals on insect immunocompetent cells. *J. Insect Physiol.* 57: 760-770. Doi: 10.1016/j.jinsphys.2011.02.012
- Bradford, M. 1976.** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72:248-254. Doi: 10.1006/abio.1976.9999
- Bronskill, J. 1961.** A cage to simplify the rearing of the greater wax moth, *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Lep. Soc.*, 15: 102-104. Doi: 10.1016/0003-2697(76)90527-3
- Canavoso, LE., Jouni, ZE., Karnas, KJ., Pennington, JE., Wells, MA. 2001.** Fat metabolism in insects. *Annu. Rev. Nutr.*, 21: 23-46. Doi: 10.1146/annurev.nutr.21.1.23
- Cervera, A., Maymo, CA., Sendra, M., Martinez-Pardo, R., Garcera, MD. 2004.** Cadmium effects on development and reproduction of *Oncopeltus fasciatus* (Heteroptera: Lygaeidae). *J. Insect Physiol.* 50: 737-749. Doi: 10.1016/j.jinsphys.2004.06.001
- Chang, H., Jwo, C., Lo, C., Tsung, T., Kao, M., Lin, H. 2005.** Rheology of CuO nanoparticle suspension prepared by ASNSS. *Rev. Adv. Mater. Sci.*, 10:128-132.
- Dadd, RH. 1985.** Nutrition: organisms, in G. A. Kerkut and L. I. Gilbert [eds.], *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, Pergamon, Oxford, United Kingdom. pp. 313-390.
- De Coen, W., Janssen, CR. 2003.** The missing biomarker link: relationships between effects on the cellular energy allocation biomarker of toxicant-stressed *Daphnia magna* and corresponding population characteristics. *Environ. Toxicol. Chem* 22, 1632-1641. Doi: 10.1897/1551-5028(2003)22<1632:TM BLRB>2.0.CO;2
- Dhas, NA., Raj, CP., Gedanken, A. 1998.** Synthesis, characterization, and properties of metallic copper nanoparticles. *Chem. Mater.* 10:1446-1452. Doi: 10.1021/cm9708269
- Emre, İ., Kayis, T., Coskun, M., Dursun, O., Cogun, HY. 2013.** Changes in antioxidative enzyme activity, glycogen, lipid, protein, and malondialdehyde content in cadmium-treated *Galleria mellonella* larvae. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 106(3):371-377. Doi: 10.1603/AN12137
- Finney, DJ. 1971.** Probit Analysis. 3rd Edition, Cambridge University Press, Cambridge. Doi: 10.1002/jps.2600600940
- Hogervorst, PAM., Wäckers, FL., Romeis, J. 2007.** Effect of honeydew sugar composition on the longevity of *Aphidius ervi*. *Entomol. Exp. Appl.* 122: 223-232. Doi: 10.1111/j.1570-7458.2006.00505.x
- Ibrahim, AMA, Ali, AM. 2018.** Silver and zinc oxide nanoparticles induce developmental and physiological changes in the larval and pupal stages of *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Asia-Pac. Entomol.* 21(4):1373-1378. Doi:10.1016/j.aspen.2018.10.018
- Jones, JC., 1962.** Current Concepts Concerning Insect Hemocytes. *Am. Zool.*, 2:209-246.
- Lagadic, L., Caquet, T., Ramade, F. 1994.** The role of biomarkers in environmental assessment. Invertebrate populations and communities. *Ecotox.* 3: 193-208. Doi: 10.1007/BF00117084
- Lee, Y., Choi, JR., Lee, KJ., Stott, NE., Kim, D. 2008.** Large-scale synthesis of copper nanoparticles by chemically controlled reduction for applications of inkjet-printed electronics. *Nanotechnol.*, 19:7. Doi: 10.1088/0957-4484/19/41/415604
- Li, Y., Liang, J., Tao, Z., Chen, J. 2007.** CuO particles and plates: synthesis and gas-sensor applications. *Mater. Res. Bull.* 43:2380-2385. Doi: 10.1016/j.materresbull.2007.07.045
- Li, M., Czymmeki KJ., Huang, CP. 2011.** Responses of *Ceriodaphnia dubia* to TiO₂ and Al₂O₃ nanoparticles: a dynamic nano-toxicity assessment of energy budget distribution. *J. Hazard. Mater.* 187(1-3):502-508. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.01.061
- Memarizadeh, N., Ghadamyari, M., Adeli M., Talebi-Jahromi, K. 2014.** Cellular energy allocation of *Glyphodes pyloalis* (Lep.: Pyralidae): changes related to exposure to TiO₂ nanoparticles. *J. Entomol. Soc. Iran*, 33(4): 43-54.

- Miranda, JE., Bortoli, SA., Takahashi, R., Silva, AF. 2003.** Nutritional indexes of silkworm (*Bombyx mori* L.) treated with juvenile hormone analogues. *Revista do Centro de Ciências Rurais* 8, 32-38.
- Moe, SJ., Stenseth, NC., Smith, RH. 2001.** Effect of a toxicant on population growth rates: sublethal and delayed responses in Blow fly populations. *Funct. Ecol.*, 15, 712-721. Doi: 10.1046/j.0269-8463.2001.00575.x
- Novais, SC., Amadeu, MVMS., De Coen, W., Amorim, MJB. 2013.** Exposure of *Enchytraeus albidus* to Cd and Zn changes in cellular energy allocation (CEA) and linkage to transcriptional, enzymatic and reproductive effects. *Chemosphere* 90, 1305-1309. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.09.030
- Roe, HJ., Batley, JM., Gray, RR., Robinson, JN. 1961.** Complete removal of glycogen from tissues by extraction with cold trichloroacetic acid solution. *J. Biol. Chem.*, 236, 1224-1246.
- Ryan, RO., Van der Horst, DJ. 2000.** Lipid transport biochemistry and its role in energy production. *Annu. Rev. Entomol.* 45: 233-260. Doi: 10.1146/annurev.ento.45.1.233
- Schrand, AM., Rahman, MF., Hussain, SM., Schlager, JJ., Smith, DA., Syed, AF. 2010.** Metal-based nanoparticles and their toxicity assessment. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 2(5):544-568. Doi: 10.1002/wnan.103
- Spring, JH, Matthews, JR, Downer, A. 1977.** Fate of glucose in the haemolymph of the American cockroach, *Periplaneta americana*. *J. Insect Physiol.* 23: 525-529. Doi: 10.1016/0022-1910(77)90264-5
- Tang, F., Li, L., Chen, D. 2012.** Mesoporous silica nanoparticles: synthesis, biocompatibility and drug delivery. *Adv. Mater.* 24:1504-1534. Doi: 10.1002/adma.201104763
- Van Handel, E. 1985.** Rapid determination of total lipid's mosquitoes. *J. Am. Mosq. Control. Assoc.*, 1: 302-304
- Wu, GX., Ye, GY, Hu, C., Cheng, JA. 2006.** Accumulation of cadmium and its effects on growth, development and hemolymph biochemical compositions in *Boettcherisca peregrina* larvae (Diptera: Sarcophagidae). *Insect Sci.*, 13, 31-39. Doi: 10.1111/j.1744-7917.2006.00065.x
- Yeager, JF, Munson SC. 1942.** Changes induced in the blood cells of the southern armyworm *Prodenia eridania* by the administration of poisons. *J. Agri. Res.* 64:307-332.
- Zorlu, T., Nurullahoğlu, ZU., Kaya, S. 2015.** Effects of titanium dioxide nanoparticles on hemocytes of *Galleria mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae). *ICOCEE-Cappodocia*, Nevşehir, Turkey, May 20-23.



İlköğretim Programlarının BM 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Açısından İncelenmesi¹

An Examination of Primary Education Programs in Terms of UNDP 2030 Sustainable Development Goals¹

Fatma Aktaş¹ , Sinem Dinçol Özgür^{2*} , Ayhan Yılmaz² 

¹MEB, Boğazlıyan Anadolu Lisesi, Yozgat, Türkiye

²Hacettepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Ankara, Türkiye

Öz

Bu çalışmada 2018-2019 eğitim-öğretim yılından itibaren uygulanan ilköğretim programlarının Birleşmiş Milletler (BM) 2030 sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile ne kadar uyumlu olduğunu ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Çalışmada doküman inceleme yöntemi kullanılmıştır. 2018-2019 İlköğretim programlarının incelenmesi ile ulaşılan veriler, içerik analizine tabi tutulmuştur. 2018-2019 öğretim programları, BM 2030 sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından incelendiğinde; zorunlu derslerden Hayat Bilgisi, Fen Bilimleri, Sosyal Bilgiler, İnkılâp Tarihi ve Atatürkçülük derslerinin bazı kazanımlarının, bazı sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevre eğitimi, Doküman inceleme, İlköğretim programları, Sürdürülebilir kalkınma hedefleri

Abstract

The purpose of this research is to reveal how compatible the 2018-2019 primary education programs are with the UNDP 2030 sustainable development goals. Document analysis method was used in the study. The data obtained through the examination of 2018-2019 primary education programs were subjected to content analysis. When 2018-2019 primary education programs are examined in terms of UNDP's 2030 sustainable development goals; it has been determined that some of the learning outcomes of Life Sciences, Science, Social Studies, History of Turkish Revolution and Kemalism courses are compatible with some sustainable development objectives.




Keywords: Environmental education, Document analysis, Primary education curriculum, Sustainable development goals

1. Giriş

Çevre sorunları sadece bir şehri ya da ülkeyi değil tüm dünyayı ilgilendirmektedir. 21. yüzyılda dünyada gözlenen hızlı nüfus artışı ve buna bağlı olarak su, hava, toprak gibi çeşitli kaynakların hızlı ve bilinçsiz tüketimi sonucunda çevre sorunları küresel bir düzeye ulaşmıştır. Çevre

sorunlarının ortaya çıkması sonucunda politik ve bilimsel çevreler yaşanan sorunlar üzerinde düşünmeye başlamış ve bunun sonucunda çözüm üretmeye yönelik çalışmalar ve projeler önem kazanmaya başlamıştır. Uluslararası platformlarda çevre sorunlarının önlenmesi ve çözümüne yönelik 1970'li yıllardan beri çok sayıda toplantılar yapılmış ve kararlar alınmıştır. 1972'de Stockholm kentinde yapılan Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı (UNCHE) çevre sorunlarının evrensel bir olgu olduğunu ortaya koymuştur. 1987 yılında yayınlanan Brundtland Raporunda sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir çevre eğitimi açıklanmış, 2001 yılında Göteborg raporunda iklim değişikliği, halk sağlığı, sürdürülebilirlik ve tabii kaynakların önemine dikkat çekilmiştir. 2006 yılında Avrupa konseyi tarafından yayınlanan raporda şimdiki ve gelecekteki kuşakların hayat kalitesini yükseltmek için; küresel açlığa

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: sinemdincol@hacettepe.edu.tr

Fatma Aktaş  orcid.org/0000-0001-8850-6257
Sinem Dinçol Özgür  orcid.org/0000-0002-4078-8176
Ayhan Yılmaz  orcid.org/0000-0003-4252-5510

¹ Bu çalışma birinci yazarın "ilköğretim programlarının sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından, çevre eğitimi ve iklim değişikliği boyutunda incelenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinin bir bölümünü içermektedir.

karşı mücadele, nüfus ve göç, iklim değişikliği ve yenilenebilir enerji, sürdürülebilir üretim ve tüketim, sürdürülebilir ulaşım, tabii kaynakları korumak ve yönetmek gibi konulara dikkat çekilmiştir (Council of the EU 2006). Gezegenin Sağlık Sigortası “Küresel İklim Anlaşması” 2015 yılında Paris İklim Zirvesi’nde BM İklim Değişikliği ile Mücadele Çerçeve Sözleşmesini destekleyen ülkeler anlaşma konusunda uzlaşa sağlamıştır. Binyıl kalkınma hedeflerinin devamı niteliğinde olan ve 2015 yılında düzenlenen Sürdürülebilir Kalkınma Programında (UNDP), Birleşmiş Milletlere üye 193 ülke, dünyada yoksulluğun bütün boyutları ile yok edilmesi ve tüm insanlığın refahının oluşturulması için 169 alt başlık içeren, 2030’a kadar Şekil 1’de bulunan konular dâhilinde 17 sürdürülebilir kalkınma hedefini kabul etmiştir (UNDP 2015). Sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsayıcı toplumları desteklemeyi, eşitsizliklerle mücadele etmeyi ve işbirliğinin önemini tanımayı amaçlayan evrensel hedefler olarak ortaya çıkmıştır (Garcia vd. 2017).

Hedef 1-Yoksulluğa son: Yoksulluğu, her şekilde ve her yerde sonlandırmak amaçlanmıştır. Gelişimi alt düzeyde olan veya gelişmeye devam eden ülkelerdeki yoksulluk sorunları giderilmeden çevre sorunlarının giderilemeyeceği öngörülmektedir (UNDP 2015).

Hedef 2-Açlığa son: Açlığı sonlandırmak, gıda güvenliğinin, beslenme imkânlarının gelişimini sağlamak ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır.

Açlığın giderilebilmesi için sürdürülebilir kaynaklar kullanılması gerekmektedir. Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler verimli tarım arazilerini arttırmalı, kendi tohum bankalarını kurmalı, biyoçeşitliliği koruyucu önlemler almalı, kuraklık ile mücadele etmeli ve gıda israfını önleyici tedbirler almalıdır (UNDP 2015).

Hedef 3-Sağlıklı bireyler: Sürdürülebilir bir çevre için en önemli unsurlardan birisi de sağlıklı bireylerdir. Bu kapsamda hava, su, toprak kirliliğinden ve kimyasal kaynaklı hastalık oluşumu ve ölümlerin 2030’a kadar en aza indirilmesi hedeflenmiştir (UNDP 2015).

Hedef 4-Nitelikli eğitim: Herkes için eşit, kaliteli ve yaşam boyu bir eğitim imkânı amaçlanmıştır. Nitelikli eğitim alan insanlar sayesinde sürdürülebilir bir çevre yaratmak mümkün olmaktadır (UNDP 2015).

Hedef 5-Toplumsal cinsiyet eşitliği: Toplumsal cinsiyet eşitliği ve tüm kadınların sosyolojik yerini sağlamlaştırmak amaçlanmıştır. Günümüzde az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin çoğunda anayasal olarak kadınlara toplumsal eşitlik fırsatı tanınmamıştır. Sürdürülebilir çevre için kadınların ekonomik kaynaklar üzerinde erkeklerle eşit haklara sahip olması gerekmektedir (UNDP 2015).

Hedef 6-Temiz su ve sıhhi koşullar: Temiz suya ve sıhhi koşullara erişilebilirlik, suyun sürdürülebilir şekilde koruma altına alınması amaçlanmıştır. Sürdürülebilir bir



Şekil 1. BM 2030 sürdürülebilir kalkınma hedefleri (UNDP 2015).

çevre için arıtma tesisleri kurulmalı, tüm insanların temiz suya ulaşması sağlanmalı ve verimli su kullanımının teşvik edilmesi gerekmektedir (UNDP 2015).

Hedef 7-Erişilebilir ve temiz enerji: Herkese güvenilir, sürdürülebilir ve erişilebilir çağa uygun enerji sağlanması amaçlanmaktadır. Temiz enerji ile iyi düzenlenmiş enerji dağıtım ağı karbon salınımını azaltarak insan ve çevre için oluşan tehlikeyi azaltacağı ifade edilmiştir (UNDP 2015).

Hedef 8-İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme: Sürdürülebilir ve kapsayıcı ekonomik büyümeyi, tam, üretken ve insana yakışır işlere sahip olmayı sağlamak amaçlanmıştır. Ekonomik büyüme gerçekleştirilirken doğal ve sürdürülebilir çevrenin zarar görmeden yapılmasına dikkat edilmesi gerekmektedir (UNDP 2015).

Hedef 9-Sanayi, yenilikçilik ve altyapı: Sağlam altyapılar oluşturmak, kapsayıcı ve sürdürülebilir sanayileşmeyi desteklemek ayrıca yeni buluşlara teşvik amaçlanmıştır. Sürdürülebilir bir çevre için yenilikçi teknolojilerin kullanımı enerji verimliliği arttıracığı gibi çevre sorunlarının çözümünde de önemli bir yere sahip olmaktadır (UNDP 2015).

Hedef 10-Eşitsizliklerin azaltılması: Ülke sınırlarında ve ülkeler arasındaki eşitsizlikleri en aza indirmek amaçlanmıştır. Bireyler arasındaki eşitsizlik ise yaş, cinsiyet, dini inançlar, cinsel tercih, ırk, etnik köken gibi farklılıklarla ifade edilmektedir (UNDP 2015).

Hedef 11-Sürdürülebilir şehir ve yaşam alanları: Tüm bireyler dâhil, şehirleri ve insanların yaşadığı yerleşim alanlarının, güvenilir, sağlam ve sürdürülebilir olması amaçlanmıştır. Şehirlerin planları yapılırken sürdürülebilir bir çevre için iyileştirmeleri de kapsamalıdır (UNDP 2015).

Hedef 12-Sorumlu üretim ve tüketim: Sürdürülebilir sorumlu tüketim ve üretim yapılarını sağlamak amaçlanmaktadır. Sürdürülebilir çevre için tüketim ve üretim biçimlerimizi tekrar gözden geçirmemiz ve israfı önlememiz gerekmektedir (UNDP 2015).

Hedef 13-İklim eylemi: İklim değişikliği ve sebep olduğu etkilerle savaş için hemen önlem almak amaçlanmıştır. Tüm ülkelerde iklim ile ilgili tehlikelere karşı mücadele ve uyumun kuvvetlendirilmesi ve bununla ilgili ulusal politikalarda, stratejilerde önlemlerin yer alması gerekmektedir (UNDP 2015).

Hedef 14-Sudaki yaşam: Sürdürülebilir kalkınma için su ve su kaynaklarını korumak ve sürdürülebilir biçimde kullanmak amaçlanmıştır. Deniz ve okyanuslara bırakılan atık maddelerin ve kirliliğin temizlenmesini sağlanması

ve iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması için bu su kütlelerini korunması gerekmektedir. Ayrıca önemli besin kaynaklarının başında gelen balıkçılık da yine bu sular sayesinde yapılmaktadır. Sağlıklı denizler üreterek yoksulluk, açlık ve işsizlik oranının azaltılabileceği ifade edilmektedir (UNDP 2015).

Hedef 15-Karasal yaşam: Doğal kara ekosistemlerini koruma, düzeltme ve sürdürülebilirliğini sağlama, ormanların sürdürülebilirliğini ve işletimini sağlama, çölleşmeyle savaşma, toprakların verimliliğini artırma, ayrıca biyoçeşitlilik kaybının önüne geçmek amaçlanmıştır (UNDP 2015).

Hedef 16-Barış ve adalet: Sürdürülebilir kalkınma için barış yanlısı ve tüm insanlığı benimseyen toplumların oluşumunu sağlamak, herkesi adalete ulaştırmak, her derecede etkili, hesap verebilen, herkesi benimseyen kurumlar oluşturmak amaçlanmıştır. (UNDP 2015).

Hedef 17-Hedefler için ortaklıklar: Sürdürülebilir kalkınma için küresel birlikteliğin uygulama işlevlerini iyileştirmek ve küresel birlikteliği yeniden hayata geçirmek amaçlanmıştır. Sürdürülebilir çevre tek bir ülkenin başarabileceği bir iş olmamakla birlikte küresel anlamda tüm ülkelerin ortaklığı, sivil toplum kuruluşlarının desteği ile sağlanabilmektedir (UNDP 2015).

1.1. Araştırmanın Önemi ve Amacı

Bu çalışmada Milli Eğitim Bakanlığının (MEB), Talim Terbiye Kurulu Başkanlığı (TTKB) tarafından 19.01.2018 tarihli ve 11 sayılı kararıyla kabul edilen ve 2018-2019 eğitim ve öğretim yılından itibaren uygulanan ilköğretim programlarında yer alan zorunlu dersler ile seçmeli Çevre Eğitimi dersinin içeriklerinin UNDP'nin 2015 yılı Eylül ayında kabul edilen BM 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ne kadar uyumlu olduğunu ortaya koymak amaçlanmıştır. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, eğitim için özel hedefler de dâhil olmak üzere, değişim için geniş bir gündem belirlemektedir (Merritt vd. 2019). Literatür incelendiğinde, 2018-2019 ilköğretim programlarını BM Sürdürülebilir Kalkınma hedefleri açısından inceleyen araştırmalara rastlanmamıştır. UNDP'nin hazırlamış olduğu 2030 sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin güncel olması, BM'ye üye olan 193 ülke içerisinde Türkiye'nin de yer alması ve geleceğimize yön verecek olan bu hedefler açısından daha önce ilköğretim programları değerlendirilmediği için yapılan bu çalışma, ilk olması açısından da önem taşımaktadır. Yapılan bu çalışmanın, ilköğretim programlarında bulunan derslerin kazanımlarının BM 2030 sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından incelenmesiyle var olan durumun ortaya

konması sonucunda eğitimcilere, program geliştiricilere ve gelecekteki araştırmalara yol gösterici olması açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Bu bağlamda araştırma sorusu “2018-2019 eğitim-öğretim yılında uygulanan İlköğretim programlarında yer alan kazanımlar, BM 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinde yer alan 17 içerikle ne kadar uyumludur?” şeklinde belirlenmiştir.

2. Yöntem

2.1. Araştırma Deseni

Bu araştırmada, nitel araştırma yöntemlerinden biri olan doküman inceleme yöntemi kullanılmıştır. Doküman incelemede, araştırılmasının hedeflendiği olgu ya da olgulara ilişkin bilgileri içeren yazılı materyallerin analizi amaçlanmaktadır (Creswell 2007, Marshall ve Rossman 1999, Yıldırım ve Şimşek 2013). Doküman inceleme yöntemi belge, materyal taranmasına ilişkin olduğundan eğitimle ilgili çalışmalarda, materyal olarak ders kitabı, programlar, ödev ve sınavlar kullanılabilir (Yıldırım ve Şimşek 2013).

2.2. Verilerin Toplanması ve Analizi

Bu araştırmada 2018-2019 ilköğretim programlarının BM 2030 sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından incelenmesi amacıyla TTKB'nin web sayfasında bulunan 2018-2019 öğretim programlarının içerisinden ilköğretim kademesi seçilip, ilgili sekmeden tüm derslerin öğretim programlarına ulaşılmıştır (MEB 2018). Seçmeli derslerden Çevre Eğitimi dersinin, MEB'e bağlı TTKB tarafından 2018-2019 öğretim programı hazırlanmamış olup, TTKB tarafından en son 2015 yılında hazırlanan öğretim programına (MEB 2015) göre değerlendirme yapılmıştır. Veriler içerik analizine tabi tutulmuştur. Araştırmaya uygun olarak geliştirilen kategorilere analiz birimleri geliştirilmiştir. Öğretim programlarında bulunan kazanımların sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından değerlendirilmesi kategorisinin analiz birimleri; hedeflerle ilgili kazanımlar, dersin adı, sınıfı, ünite numarası ve ünite adı olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilere ilişkin frekans hesaplamaları yapılmıştır ve bu değerler çizelgeler halinde gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucu, ilköğretim programlarında yer alan kazanımların öğrencilerin BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ilişkin tutum, beceri, anlayış geliştirebilmeleri açısından yeterli olmadığı, kısmen yeterli olduğu ya da yeterli olduğuna ilişkin yorumlamalara sonuç ve tartışma kısmında yer verilmiştir. Ayrıca her bir düzey için yapılan detaylı incelemelere Ek- Çizelge 1, Ek-Çizelge 2 ve Ek-Çizelge 3'de yer verilmiştir.

3. Bulgular

İlköğretim programlarında bulunan kazanımlar BM 2030 sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından incelendiğinde; BM 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerini içeren zorunlu derslerde ve seçmeli Çevre Eğitimi dersinde yer alan kazanımlarının sayıları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1 incelendiğinde; BM 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile en çok ilgili dersin Sosyal Bilgiler, en az ilişkili dersin ise İnkılap Tarihi ve Atatürkçülük olduğu görülmektedir. İlköğretim Programlarında 7. ve 8. sınıf düzeylerinde okutulan seçmeli Çevre Eğitimi dersinin, kazanım sayılarının BM 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri açısından dağılımı incelendiğinde ise en çok kazanıma sahip olan hedefin İklim Eylemi olduğu görülmektedir.

İlköğretim programlarında bulunan tüm kazanımlar BM 2030 sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından incelendiğinde;

Yoksulluğa son hedefi ile ilgili herhangi bir ünite, öğrenme alanına, konuya veya kazanıma doğrudan yer verilmemiştir. Bu hedefe ilişkin dolaylı olarak Hayat Bilgisi dersinde 4 tane, Fen Bilimleri dersinde 1 tane ve Sosyal Bilgiler Dersinde 5 tane kazanım bulunmaktadır. Bu kazanımların genel olarak kendi bütçesini yönetme, ihtiyacı olan bireylere duyarlılık gösterme ve yardımda bulunma, sosyal yardımlaşma ve dayanışma üzerine olduğu görülmektedir (Ek-Çizelge 1).

Açlığa son hedefi ile ilgili doğrudan bir kazanıma yer verilmemiştir ancak dolaylı olarak ilişkili kazanımların Hayat Bilgisi dersinde 4 tane, Fen Bilimleri dersinde 1 tane, Sosyal Bilgiler Dersinde 1 tane, Çevre Eğitimi dersinde de 1 tane olduğu saptanmıştır. İlgili kazanımların içeriklerinin öğünlere göre dengeli beslenme, yemek yerken görgü kurallarına uyma ve küresel sorunların çözümüne ilişkin olduğu belirlenmiştir.

Sağlıklı Bireyler hedefi ile doğrudan ilgili Hayat Bilgisi dersinde “Sağlıklı Hayat ve Vücudumuzdaki Sistemler ve Sağlığı” üniteleri olduğu saptanmıştır. Sağlıklı bireyler hedefi ile ilgili Hayat Bilgisi dersinde 13 tane, Fen Bilimleri dersinde 9 tane, Sosyal Bilgiler Dersinde 1 tane kazanım olduğu saptanmıştır. İlgili kazanımlarda kişisel bakım, sağlığını korumak için alınması gereken önlemler, sağlığa yararlı yiyecek ve içecek, dengeli beslenme, organ bağışının önemi, alkol ve sigaranın zararları, sağlık ile ilgili hizmet veren kurumları tanıma, teknolojik ürünlerin kendisine, başkasına ve doğaya zarar vermeden kullanılması gibi konulara yer verilmiştir (Ek-Çizelge 2).

Çizelge 1: İlköğretim programlarında bulunan derslerin, BM 2030 sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile ilgili kazanımlarının sayıları.

Hedefler	Hayat Bilgisi	Fen Bilimleri	Sosyal Bilgiler	İnkılâp Tarihi Atatürkçülük	Çevre Eğitimi
Yoksulluğa Son	4	1	5		
Açlığa Son	4	1	1		1
Sağlıklı Bireyler	13	9	1		
Nitelikli Eğitim					
Toplumsal Cinsiyet Eşitliği			1	2	
Temiz Su ve Sıhhi Koşullar	5	1			1
Erişilebilir ve Temiz Enerji		12			
İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme	1		8		1
Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı			5		
Eşitsizliklerin Azaltılması	3		10		
Sürdürülebilir Şehir ve Yaşam Alanları	16	12	3		2
Sorumlu Üretim ve Tüketim	12	14	10		11
İklim Eylemi	6	9	8		19
Sudaki Yaşam		3	1		
Karasal Yaşam	8	3	1		1
Barış ve adalet			11		
Hedefler için Ortaklıklar	2		9		

Nitelikli eğitim hedefi ile ilgili öğretim programlarında herhangi bir konu, ünite veya kazanıma rastlanmamıştır.

Toplumsal Cinsiyet Eşitliği hedefi ile dolaylı olarak ilişkili Sosyal Bilgiler dersinde 1 tane, İnkılâp Tarihi ve Atatürkçülük dersinde 2 tane kazanım yer almaktadır. Bu kazanımlar toplumsal hayatta kadına verilen değeri fark etme ve toplumsal hayatta yapılan inkılâplar gibi konuları içermektedir.

Temiz Su ve Sıhhi Koşullar hedefi ile ilgili dolaylı olarak ilişkili Hayat Bilgisi dersinde 5 tane, Fen Bilimleri dersinde 1 tane ve Çevre Eğitimi dersinde 1 tane kazanım olduğu saptanmıştır. Bu kazanımlar tuvalet kullanma, doğa ve çevresini temiz tutma, kaynakları verimli kullanma, ortak kullanım alanlarında temizlik ve hijyen kurallarına uyma gibi konuları içermektedir.

Erişilebilir ve Temiz Enerji hedefi ile ilgili yalnızca Fen Bilimleri dersinde 12 tane kazanıma yer verilmiştir. Bu kazanımlar ise yakıtları sınıflandırma, elektrik enerjisinin diğer enerji türlerine dönüşümü, elektrik enerjisinin bilinçli ve tasarruflu kullanımı, güneş enerjisinin uygulamaları gibi

konuları içermektedir. İlgili kazanımlarda temiz enerji kaynaklarından sadece güneş enerjisine değinilmiş, diğer temiz enerji kaynaklarından söz edilmemiştir (Ek-Çizelge 3).

İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme hedefi ile ilgili Hayat Bilgisi dersinde 1 tane, Sosyal Bilgiler dersinde 8 tane ve Çevre Eğitimi dersinde ise 1 tane kazanıma yer verilmiştir. Bu kazanımlar çevresindeki ekonomik faaliyetleri sosyal yaşamda analiz etme, ülke kaynakları ile ilişkilendirme, ülkemiz ile diğer ülkeler arasındaki ekonomik ilişkileri araştırma, ilgi duyulan meslekleri araştırma ve sürdürülebilir doğal kaynak kullanımının sürdürülebilir kalkınmaya etkisi gibi konularını içermektedir.

Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı hedefi ile ilgili kazanımlara ise 5 tane olmak üzere sadece Sosyal Bilgiler dersinde yer verilmiştir. Bu kazanımlar ise üretim, dağıtım ve tüketime dayalı yeni fikirler geliştirme, yatırım ve pazarlama üzerine proje geliştirme, buluş yapanların özelliklerini belirleme gibi konuları içermektedir. Kazanımlarda yenilikçiliğe yer verilmiş ancak sanayi ve altyapı konularına değinilmemiştir.

Eşitsizliklerin Azaltılması hedefi ile ilgili 3 tane Hayat Bilgisi dersinde ve 10 tane Sosyal Bilgiler derslerinde kazanımlar yer almaktadır. Bu kazanımlar farklı kültürdeki insanların yaşam şekillerine ve alışkanlıklarına saygı, toplum içerisinde uyum içerisinde yaşayabilmek, bireysel farklılıklara saygı, çeşitli kültürlerle yönelik kalıp yargıları sorgulama gibi konuları içermektedir.

Sürdürülebilir Şehir ve Yaşam Alanları hedefi ile ilgili Hayat Bilgisi dersinde 16 tane, Fen Bilimleri dersinde 12 tane, Sosyal Bilgiler Dersinde 3 tane ve Çevre Eğitimi dersinde 2 tane kazanıma rastlanmıştır. Bu kazanımlar okula gidiş gelişteki güvenlik kurallarına ve trafik kurallarına uyma, doğayı ve çevreyi temiz tutma, çevresindeki doğal varlıkları, tarihi mekânları ve beşeri özelliklerini tanıma, çevre sorunlarına yönelik çıkarımda bulunma, ışık ve ses kirliliği, atıkların çevreye zararları gibi konuları içermektedir.

Sorumlu Üretim ve Tüketim hedefi ile ilgili Hayat Bilgisi dersinde 12 tane, Fen Bilimleri dersinde 14 tane, Sosyal Bilgiler Dersinde 10 tane ve Çevre Eğitimi dersinde 11 tane kazanım bulunmaktadır. Bu kazanımlar; kaynakları verimli ve tasarruflu kullanma, kaynakların bilinçsizce tüketilmesinin canlı yaşamına etkisi, bilinçli bir tüketici olma, geri dönüşüme katkıda bulunma, çevresindeki üretim faaliyetlerini gözlemleme, elektriğin tasarruflu kullanımı, atık kontrolü gibi konuları içermektedir.

İklim Eylemi hedefi ile doğrudan ilgili Fen Bilimleri dersinde Mevsimler ve İklim ünitesi olduğu saptanmıştır. Bu hedefe ilişkin Hayat Bilgisi dersinde 6 tane, Fen Bilimleri dersinde 9 tane, Sosyal Bilgiler Dersinde 8 tane ve Çevre Eğitimi dersinde 19 tane kazanım yer almaktadır. Bu kazanımlar mevsim ve özellikleri, doğa olayları, doğal afetler, iklim ve hava olayları arasındaki ilişki, küresel iklim değişikliği, biyoçeşitlilik ve biyoçeşitliliği tehdit eden faktörler, asit yağmurları, iklim bilimi, küresel sorunlar gibi konuları içermektedir.

Sudaki Yaşam hedefi ile dolaylı olarak ilgili Fen Bilimleri dersinde 3 tane, Sosyal Bilgiler Dersinde 1 tane kazanım olduğu belirlenmiştir. Bu kazanımlarda dünya yüzeyinde kara ve suların yer aldığı, doğal çevrenin canlılar için önemi, kaynakların bilinçsizce tüketilmesinin canlı yaşamına etkileri gibi konulara yer verilmiştir.

Karasal Yaşam hedefi ile ilgili Hayat Bilgisi dersinde 8 tane, Fen Bilimleri dersinde 3 tane, Sosyal Bilgiler Dersinde 1 tane ve Çevre Eğitimi dersinde 1 tane kazanım bulunmaktadır. Bu kazanımlar incelendiğinde dünya yüzeyinde kara ve suların yer aldığı, doğal çevrenin canlılar için önemi,

kaynakların bilinçsizce tüketilmesinin canlı yaşamına etkileri, yakın çevresindeki bitki ve hayvanları korumaya özen gösterme, bitki yetiştirme ve hayvan beslemenin önemine, insanların doğal unsurlar üzerindeki etkisi gibi konulara yer verildiği görülmektedir.

Barış ve Adalet hedefi ile ilgili sadece Sosyal Bilgiler dersine 11 tane kazanıma yer verilmiştir. Bu kazanımlar ise çocukların sahip olduğu haklar, ülkesinin bağımsızlığı ve bireysel özgürlüğü arasındaki ilişki, diğer ülkelerle olan ilişkiler, sorunlara getirilen çözümlerin hak, sorumluluk ve özgürlükler temelinde olması, anayasal güvence altında olduğu, iletişim araçlarından yararlanırken hak ve sorumluluklarını yerine getirme, temel haklar, yerleşme ve seyahat özgürlüğü gibi konuları içermektedir.

Hedefler için Ortaklıklar hedefi ile ilgili Hayat bilgisi dersinde 2 tane, Sosyal Bilgiler dersinde 9 tane kazanım bulunmaktadır. Bu kazanımlar incelendiğinde; okulun bireysel ve toplumsal katkıları, ülkemizde yaşayan farklı kültürdeki insanların sorunlarına yönelik sosyal sorumluluk projeleri, ülkemiz ile diğer ülkeler arasındaki ekonomik ilişkiler, toplumsal birliktelik için sosyal yardımlaşma ve dayanışma, Türkiye'nin üyesi olduğu uluslararası kuruluşlar, kurumların ve sivil toplum kuruluşlarının çalışmaları, Türkiye'nin ilişkide olduğu ekonomik bölge ve kuruluşlar, ülkemizin uluslararası alanda üstlendiği roller gibi konulara yer verildiği görülmektedir.

4. Tartışma

Bu çalışma kapsamında 2018-2019 ilköğretim programı kapsamında okutulan zorunlu dersler ile seçmeli Çevre Eğitimi dersinin içerikleri BM 2030 sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından incelenmiştir. Seçmeli derslerden Çevre Eğitimi dersinin, MEB'e bağlı TTKB tarafından 2018-2019 öğretim programı hazırlanmamış olup, TTKB tarafından en son 2015 yılında hazırlanan öğretim programına göre değerlendirme yapılmıştır. Sonuç olarak ilköğretim programında yer alan zorunlu derslerden Hayat Bilgisi, Fen Bilimleri, Sosyal Bilgiler, İnkılâp Tarihi ve Atatürkçülük dersleri ile seçmeli olarak okutulan Çevre Eğitimi derslerinin bazı kazanımlarının BM 2030 sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu derslerde de BM 2030 sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ilişkin kazanımların genel olarak sayılarının az olduğu ve hatta "Nitelikli Eğitim" hedefi ile ilgili öğretim programlarında herhangi bir kazanım bulunmadığı tespit edilmiştir. Her bir hedefin amacı, ayrı ayrı göz önüne alındığında kazanımlarla doğrudan ilişkili olmadığı belirlenmiştir. Öğretim programlarında

yer verilen kazanımların öğrencilerin Açlığa Son, Toplumsal Cinsiyet Eşitliği, Temiz Su ve Sıhhi Koşullar, Erişilebilir ve Temiz Enerji (Ek-Çizelge 3), Sudaki Yaşam ve Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı hedeflerine ilişkin tutum, beceri, değer ve anlayış geliştirebilmeleri için yeterli olmadığı; Yoksulluğa Son (Ek-Çizelge 1), Karasal Yaşam hedeflerine ilişkin tutum, beceri ve değer geliştirebilmelerinde ise kısmen yeterli olduğu söylenebilir. İlköğretim programlarında yer alan kazanımların öğrencilerin İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme, Sağlıklı Bireyler (Ek-Çizelge 2), Eşitsizliklerin Azaltılması, Sürdürülebilir Şehir ve Yaşam Alanları, Sorumlu Üretim ve Tüketim, İklim Eylemi, Barış ve Adalet, Hedefler için Ortaklıklar hedeflerine ilişkin tutum, beceri, değer ve anlayış geliştirebilmeleri içinse yeterli olduğu söylenebilir. Literatürde ilköğretim programlarının, ders içeriklerinin, ünitelerin, kazanımların çevre eğitimi, çevre konuları, sürdürülebilir çevre eğitimi, sürdürülebilir kalkınma eğitimi açısından incelendiği çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Akınoğlu ve Sarı 2009, Erduran Avcı ve Öz 2012, Güven ve Hamalosmanoğlu 2012, Kaya ve Tomal 2011, Öztürk ve Zayımoğlu Öztürk 2016, Tanrıverdi 2009, Ürey ve Aydın 2014, Yılmaz 2016, Yolcu 2014). Ancak 2018-2019 ilköğretim programlarını çevre eğitimi açısından inceleyen sınırlı çalışmalara rastlanmakla birlikte (Karaismailoğlu 2018) yürütülen bu çalışma güncel ilköğretim programlarının, Türkiye'nin de üyesi olduğu ve geleceğimize yön verecek olan BM 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri açısından değerlendirildiği ilk çalışmadır. Bu bağlamda bu araştırma ile ilköğretim programlarında yer alan derslerin BM 2030 sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ilişkin var olan durumun ortaya konması ile özellikle program geliştiricilere, eğitimciler ve araştırmacılara yol gösterici olacağına inanılmaktadır. Ayrıca sürdürülebilir kalkınma hedefleri sadece düşüncelerde veya hayal olarak kalmamalı, yeni nesillere sürdürülebilir bir gelecek sağlamak için bütüncül bir yaklaşım üstlenilmeli (Jevtic ve Bouland 2018) ve tüm boyutları ile değerlendirilerek eğitim sürecine dâhil edilmelidir.

Bu araştırma sonucunda; öğrencilerimize BM 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine ilişkin tutum, beceri ve anlayış kazandırmak adına Çevre Eğitimi dersi içeriğinin var olan eksiklikler göz önünde bulundurularak güncellenmesi önerilmektedir. Hatta Çevre Eğitimi dersinin zorunlu hale getirilmesi de yararlı olacaktır. "Sürdürülebilirlik, sürdürülebilir kalkınma, sürdürülebilir çevre eğitimi" kavramları derslerin içeriklerine dâhil edilerek, anlamlı öğrenmeler sağlanması önerilmektedir. İlköğretim Programlarında bulunan sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile ilişkili kazanımlar

hedeflerin içeriğine daha uygun ve uygulanabilir hazırlanabilir. Böylece hedeflerin anlaşılması ve gelecek nesillere yön vermesi sürdürülebilirlik açısından önemli olacaktır.

5. Kaynaklar

- Akınoğlu, O., Sarı, A. 2009.** İlköğretim programlarında çevre eğitimi. *M. Ü. Atatürk Eğt. Fak. Eğt. Bil. Der.* 30: 5-29.
- Council of the EU. 2006.** Commission Report Brussels. <https://www.consilium.europa.eu/en/>.
- Creswell, JW. 2007.** Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches. Sage Publications, London.
- Erduran Avcı, D., Öz, S. 2012.** Fen ve teknoloji dersi öğretim programındaki çevre kazanımlarının incelenmesi. *NWSA-Educ. Sci.* 2012, 7(2). Article Number: 1C0534.
- Garcia J., da Silva SA., Carvalho AS., de Andrade Guerra, JBSO. 2017.** Education for sustainable development and its role in the promotion of the sustainable development goals. In: Davim J. [eds.], Curricula for Sustainability in Higher Education. Management and Industrial Engineering. Springer, Cham, pp. 1-18. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56505-7>
- Güven, E., Hamalosmanoğlu, M. 2012.** İlköğretim 7. sınıf çevre eğitiminin disiplinler arası yaklaşım açısından incelenmesi. *JEE, J. Eur. Educ.* 2(2): 24-30.
- Jevtic, M., Bouland, C. 2018.** Sustainable development goals as a framework of education for healthy cities and healthy environments. In: Azeiteiro U., Akerman M., Leal Filho W., Setti A., Brandli L. [eds.] Lifelong Learning and Education in Healthy and Sustainable Cities. World Sustainability Series. Springer, Cham, pp. 283-298. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69474-0_17
- Karaismailoğlu, ES. 2018.** Öğretmenlerin çevre bilinci düzeyinin belirlenmesi-Ankara Etimesgut örneği. *Yüksek lisans tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Kaya, M. F., Tomal, N. 2011.** Sosyal bilgiler dersi öğretim programının sürdürülebilir kalkınma açısından incelenmesi. *EBAD-JESR*, 1(2): 49-65.
- Marshall, C., Rossman, GB. 1999.** Designing qualitative research. Sage Publications, London.
- MEB. 2015.** Çevre eğitimi dersi öğretim programı. http://kirikkale.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2015_08/27110659_evreitimiretimprogram.pdf
- MEB. 2018.** İlköğretim programları. <http://mufredat.meb.gov.tr/Programlar.aspx>
- Merritt, E., Hale, A., Archambault, L. 2019.** Changes in pre-service teachers' values, sense of agency, motivation and consumption practices: a case study of an education for sustainability course. *Sustainability*, 11(1):155, 1-15. <https://doi.org/10.3390/su11010155>

Öztürk, T., Zayimoğlu Öztürk, F. 2016. Sosyal bilgiler öğretim programının çevre eğitimi açısından analizi. *Kastamonu Eğt. Der.* 24(3): 1533-1550.

Tanrıverdi, B. 2009. Sürdürülebilir çevre eğitimi açısından ilköğretim programlarının değerlendirilmesi. *Eğit. ve Bil.* 34(151): 89-103.

UNDP 2015. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri. <http://www.tr.undp.org>

Ürey, M., Aydın, M. 2014. İlköğretim fen ve teknoloji dersi programında yer alan çevre konularına yönelik bir program analizi, *Kafkas Üni., e-Kafkas Eğt. Araş. Der.* 1(2): 7-20.

Yıldırım, A., Şimşek, H. 2013. Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri. Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Yılmaz, O. 2016. Sosyal bilgiler ve fen bilgisi eğitimi lisans programlarının çevre eğitimi açısından değerlendirilmesi. *Yüksek lisans tezi*, Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir.

Yolcu, O. 2014. Cumhuriyetten (1923) günümüze (2013) ilköğretim birinci kademe hayat bilgisi ve fen ve teknoloji öğretim programlarının “çevre eğitimi” açısından incelenmesi. *Yüksek lisans tezi*, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.

EKLER

Ek-Çizelge 1: İlköğretim programlarında yoksulluğa son kavramı ile ilgili kazanımlar, dersin adı, sınıfı, ünite numarası ve ünite adı.

Dersin Adı	Sınıf	Ünite No	Ünite Adı	Kazanımlar
Hayat Bilgisi	2	1	Okulumuzda Hayat	HB.2.1.11. Okulda parasını ihtiyaçları doğrultusunda bilinçli bir şekilde harcar.
Hayat Bilgisi	2	2	Evimizde Hayat	HB.2.2.7. Yakın çevresindeki yardıma ihtiyaç duyan insanlara karşı duyarlı olur.
Hayat Bilgisi	3	1	Okulumuzda Hayat	HB.3.1.7. Okuldaki sosyal yardımlaşma ve dayanışmayla ilgili çalışmalara katılmaya istekli olur.
Hayat Bilgisi	3	2	Evimizde Hayat	HB.3.2.8. İstek ve ihtiyaçlarını karşılarken kendisinin ve ailesinin bütçesini korumaya özen gösterir.
Fen Bilimleri	7	4	Saf Madde ve Karışımlar	F.7.4.5.5. Yeniden kullanılabilir eşyalarını, ihtiyacı olanlara iletmeye yönelik proje geliştirir.
Sosyal Bilgiler	4	5	Üretim, Dağıtım ve Tüketim	SB.4.5.2. Ailesi ve yakın çevresindeki başlıca ekonomik faaliyetleri tanıır.
Sosyal Bilgiler	4	5	Üretim, Dağıtım ve Tüketim	SB.4.5.4. Kendine ait örnek bir bütçe oluşturur.
Sosyal Bilgiler	5	5	Üretim, Dağıtım ve Tüketim	SB.5.5.3. Çevresindeki ekonomik faaliyetlerin, insanların sosyal hayatlarına etkisini analiz eder.
Sosyal Bilgiler	6	1	Birey ve Toplum	SB.6.1.4. Toplumsal birlikteliğin oluşmasında sosyal yardımlaşma ve dayanışmayı destekleyici faaliyetlere katılır.
Sosyal Bilgiler	7	7	Küresel Bağlantılar	SB.7.7.4. Arkadaşlarıyla birlikte küresel sorunların çözümüne yönelik fikir önerileri geliştirir.

Ek-Çizelge 2: İlköğretim programlarında sağlıklı bireyler kavramı ile ilgili kazanımlar, dersin adı, sınıfı, ünite numarası ve ünite adı.

Dersin Adı	Sınıf	Ünite No	Ünite Adı	Kazanımlar
Hayat Bilgisi	1	3	Sağlıklı Hayat	HB.1.3.1. Kişisel bakımını düzenli olarak yapar.
Hayat Bilgisi	1	3	Sağlıklı Hayat	HB.1.3.2. Sağlığını korumak için alması gereken önlemleri fark eder.
Hayat Bilgisi	1	3	Sağlıklı Hayat	HB.1.3.3. Sağlığı için yararlı yiyecek ve içecekleri seçer.
Hayat Bilgisi	1	3	Sağlıklı Hayat	HB.1.3.4. Gün içerisinde öğünlere uygun ve dengeli beslenir.
Hayat Bilgisi	1	3	Sağlıklı Hayat	HB.1.3.7. Kitle iletişim araçlarını kullanırken beden sağlığını korumaya özen gösterir.
Hayat Bilgisi	2	3	Sağlıklı Hayat	HB.2.3.1. Sağlıklı büyüme ve gelişme ile kişisel bakım, spor, uyku ve beslenme arasındaki ilişkiyi fark eder.
Hayat Bilgisi	2	3	Sağlıklı Hayat	HB.2.3.4. Sağlıklı bir yaşam için temizliğin gerekliliğini açıklar.
Hayat Bilgisi	2	3	Sağlıklı Hayat	HB.2.3.5. Sağlıkla ilgili hizmet veren kurumları ve meslekleri tanıır.
Hayat Bilgisi	2	3	Sağlıklı Hayat	HB.2.3.6. Mevsimine uygun meyve ve sebze tüketiminin insan sağlığına etkilerini fark eder.
Hayat Bilgisi	2	4	Güvenli Hayat	HB.2.4.4. Acil durumlarda yardım alabileceği kurumları ve kişileri bilir.
Hayat Bilgisi	3	3	Sağlıklı Hayat	HB.3.3.3. Sağlığını korumak için mevsimlere özgü yiyeceklerle beslenir.
Hayat Bilgisi	3	3	Sağlıklı Hayat	HB.3.3.4. Sağlığını korumak için yeterli ve dengeli beslenir.
Hayat Bilgisi	3	3	Sağlıklı Hayat	HB.3.3.5. Kendisinin ve toplumun sağlığını korumak için ortak kullanım alanlarında temizlik ve hijyen kurallarına uyar.
Fen Bilimleri	3	2	Beş Duyumuz	F.3.2.1.3. Duyu organlarının sağlığını korumak için yapılması gerekenleri açıklar.
Fen Bilimleri	3	4	Maddeyi Tanıyalım	F.3.4.1.2. Bazı maddelere dokunma, bakma, onları tatma ve koklamanın canlı vücuduna zarar verebileceğini tartışır.
Fen Bilimleri	4	2	Besinlerimiz	F.4.2.1.3. Sağlıklı bir yaşam için besinlerin tazeliğinin ve doğallığının önemini, araştırma verilerine dayalı olarak tartışır.
Fen Bilimleri	4	2	Besinlerimiz	F.4.2.1.4. İnsan sağlığı ile dengeli beslenmeyi ilişkilendirir.
Fen Bilimleri	4	2	Besinlerimiz	F.4.2.1.5. Alkol ve sigara kullanımının insan sağlığına olan olumsuz etkilerinin farkına varır.
Fen Bilimleri	4	2	Besinlerimiz	F.4.2.1.6. Yakın çevresinde sigara kullanımını azaltmaya yönelik sorumluluk üstlenir.
Fen Bilimleri	6	4	Madde ve Isı	F.6.4.4.3. Soba ve doğal gaz zehirlenmeleri ile ilgili alınması gereken tedbirleri araştırır ve rapor eder.
Fen Bilimleri	6	6	Vücudumuzdaki Sistemler ve Sağlığı	F.6.6.3.1. Sistemlerin sağlığı için yapılması gerekenleri araştırma verilerine dayalı olarak tartışır.
Fen Bilimleri	6	6	Vücudumuzdaki Sistemler ve Sağlığı	F.6.6.3.2. Organ bağışının toplumsal dayanışma açısından önemini kavrar.
Sosyal Bilgiler	4	4	Bilim, Teknoloji ve Toplum	SB.4.4.5. Teknolojik ürünleri kendisine, başkalarına ve doğaya zarar vermeden kullanır.

Ek-Çizelge 3: İlköğretim programlarında erişilebilir ve temiz enerji kavramı ile ilgili kazanımlar, dersin adı, sınıfı, ünite numarası ve ünite adı.

Dersin Adı	Sınıf	Ünite No	Ünite Adı	Kazanımlar
Fen Bilimleri	6	4	Madde ve Isı	F.6.4.4.1. Yakıtları, katı, sıvı ve gaz yakıtlar olarak sınıflandırıp yaygın şekilde kullanılan yakıtlara örnekler verir.
Fen Bilimleri	6	4	Madde ve Isı	F.6.4.3.2. Binalarda kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin seçilme ölçütlerini belirler.
Fen Bilimleri	6	4	Madde ve Isı	F.6.4.3.3. Alternatif ısı yalıtım malzemeleri geliştirir.
Fen Bilimleri	6	4	Madde ve Isı	F.6.4.3.4. Binalarda ısı yalıtımının önemini, aile ve ülke ekonomisi ve kaynakların etkili kullanımını bakımından tartışır.
Fen Bilimleri	6	4	Madde ve Isı	F.6.4.4.2. Farklı türdeki yakıtların ısı amaçlı kullanımının, insan ve çevre üzerine etkilerini tartışır.
Fen Bilimleri	7	5	Işığın Madde ile Etkileşimi	F.7.5.1.4. Güneş enerjisinin günlük yaşam ve teknolojiadaki yenilikçi uygulamalarına örnekler verir.
Fen Bilimleri	7	5	Işığın Madde ile Etkileşimi	F.7.5.1.5. Güneş enerjisinden gelecekte nasıl yararlanılacağına ilişkin ürettiği fikirleri tartışır.
Fen Bilimleri	8	7	Elektrik Yükleri ve Elektrik Enerjisi	F.8.7.3.1. Elektrik enerjisinin ısı, ışık ve hareket enerjisine dönüştüğü uygulamalara örnekler verir.
Fen Bilimleri	8	7	Elektrik Yükleri ve Elektrik Enerjisi	F.8.7.3.2. Elektrik enerjisinin ısı, ışık veya hareket enerjisine dönüşümü temel alan bir model tasarlar.
Fen Bilimleri	8	7	Elektrik Yükleri ve Elektrik Enerjisi	F.8.7.3.3. Güç santrallerinde elektrik enerjisinin nasıl üretildiğini açıklar.
Fen Bilimleri	8	7	Elektrik Yükleri ve Elektrik Enerjisi	F.8.7.3.4. Güç santrallerinin avantaj ve dezavantajları konusunda fikirler üretir.
Fen Bilimleri	8	7	Elektrik Yükleri ve Elektrik Enerjisi	F.8.7.3.5. Elektrik enerjisinin bilinçli ve tasarruflu kullanılmasının aile ve ülke ekonomisi bakımından önemini tartışır.



17-4 PH ve 15-5 PH Paslanmaz Çeliklerinin Tortalanmasında Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Araştırılması

Investigation of the Effect of Cutting Parameters on Cutting Force and Surface Roughness in Turning of 17-4 PH and 15-5 PH Stainless Steels

Saltuk Alper Yaşar* , Gültekin Uzun , İhsan Korkut 

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği, Ankara, Türkiye

Öz

Çökeltmeyle sertleştirilen (PH) paslanmaz çelikler günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Perçinler, kompresör pervaneleri, enerji santrallerindeki türbinler, yük taşıma özelliği olan miller, nükleer reaktör bileşenleri, petrol, kimyasal, havacılık, deniz, medikal ve savunma sanayii bunlardan başlıca kullanım alanları olarak sayılabilir. Bu çalışmada, çeşitli endüstrilerde aktif olarak kullanılan, çökeltme yoluyla sertleştirilmiş paslanmaz çelik türü olan 17-4 PH ve 15-5 PH paslanmaz çelik malzemelerin işlenebilirliğinde, tornalama yöntemiyle kesme parametrelerinin; kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılarak optimum kesme parametreleri belirlenmiş ve bu malzemelerin işlenebilirliği kıyaslanmıştır. PVD ve CVD kaplama yöntemleriyle kaplanmış kesici takımlar kullanılarak dört farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme hızı ve dört farklı kesme derinliğinde işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Zaman ve maliyetin en aza indirgenmesi için Taguchi karma seviye deney tasarımı metodu kullanılmıştır. Üretimde işleme maliyetlerinin azaltılmasında yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri gibi faktörlerin büyük önemi vardır. Elde edilen veriler ışığında optimum kesme parametreleri tayin edilerek kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde her bir kesme parametresinin ne kadar etki ettiği ANOVA (Varyans analizi) ile belirlenmiştir. En etkili parametreler kesme kuvveti açısından kesme derinliği iken, yüzey pürüzlülüğü açısından ilerleme oranı olduğu, optimum kesme şartlarında PVD kaplamalı takımın daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 17-4 PH, 15-5 PH, İşlenebilirlik, Kesme kuvveti, Tornalama, Yüzey pürüzlülüğü


Abstract


Precipitation hardened stainless steels are widely used today. The major usage areas of these steels are such as fasteners, compressor wheels, turbines in power plants, load carrying shafts, nuclear reactor components, oil, chemical, and aviation, marine, medical and defense industries. In this study, the optimum cutting parameters were determined in turning of 17-4 PH and 15-5 PH stainless steels which are widely used in various industries, also the effects of cutting parameters on cutting force and surface roughness were investigated and machinability capabilities of the materials were compared. The machinability tests performed with four different cutting speeds, four different feed rates and four different cutting depths by using CVD and PVD coated cutting tools. Taguchi mixed level experimental design method was used for minimizing the processing time and costs. Some factors such as surface roughness and cutting force have great importance for reducing the machining costs in manufacturing. In the light of the obtained data, optimum cutting parameters determined. Thereafter, ANOVA (Analysis of Variance) was performed in order to determine the influence of each cutting parameter on cutting forces and surface roughness. The most effective parameters in terms of cutting force and surface roughness are cutting depth and feed rate, respectively. It is determined that PVD coated cutting tool is more effective at optimum cutting parameters.

Keywords: 17-4 PH, 15-5 PH, Machinability, Cutting force, Turning, Surface roughness

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: saltukalperyasar@gazi.edu.tr

Saltuk Alper Yaşar  orcid.org/0000-0002-1050-5403

Gültekin Uzun  orcid.org/0000-0002-6820-8209

İhsan Korkut  orcid.org/0000-0002-5001-4449

1. Giriş

Yüksek verim ve korozyon direnci ile çalışan malzemelere ilginin artmasıyla, çökeltme yoluyla sertleşebilen martenzitik paslanmaz çelikler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Perçinler, kompresör pervaneleri, enerji santrallerindeki türbinler, yük taşıma özelliği olan miller, nükleer reaktör bileşenleri, petrol, kimyasal, havacılık, deniz, medikal ve savunma sanayii başlıca kullanım alanları olarak sayılabilir. Paslanmaz çeliklerde yüksek çekme mukavemeti ve korozyon direncini sağlamak için gerekli olan malzeme kompozisyonu paslanmaz çeliklerin işlenmesini zorlaştırmaktadır. Paslanmaz çeliğin sıvanması yığıntı talaş oluşumuna (BUE) yol açmaktadır. BUE kesici uçlardaki aşınmayı artırarak işlenen parçaların yüzeylerinin bozuk çıkmasına sebep olmaktadır. Sıcak talaşlar işlenen iş parçasından uzaklaşırken kesiciyi aşındıran ve işlenen yüzeyi bozan uzun tel halinde oluşurlar. Yüksek krom ve nikel muhtevassından dolayı paslanmaz çelikler diğer karbonlu veya alaşımlı çeliklerden daha yüksek sünekliğe ve daha düşük ısı iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle talaş kaldırmak için gerekli olan yüksek enerji, talaşlarla birlikte iş parçasından uzaklaşmak yerine kesme bölgesinde hapsolür. Kesme bölgesinde oluşan ısı arttıkça iş parçası ve kesici üzerindeki aşınma mekanizmaları da hız kazanır. Bu durum kesicilerde çatlaklara sebep olabilecek ısı genleşmeyi ve ısı ıyurulma mekanizmasını hızlandırır (Çiftçi vd. 1999). Ayrıca, bir malzemenin kimyasal bileşimi, maruz kaldığı ısı ıyşlem ve içerisindeki inklüzyonlar işlenebilirlik özelliğini önemli ölçüde etkiler ve bazı durumlarda kimyasal bileşim takım üzerinde etkin olan aşınma mekanizmalarını da belirler (Sandvik Coromant 1994). Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelik alaşımlarının işlenebilirliği sertlik seviyelerine ve alaşım türlerine bağlıdır. Martenzitik PH paslanmaz çelik alaşımlar çözelti işlem şartlarında işlenebilirler. Bundan dolayı arzu edilen dayanım seviyesine ulaşmak için yaşlandırma işlemi yapmak gerekir. Bu durumda, yüksek sertlik işlenebilirliği nispeten sınırlar. Bu alaşımların büyük çoğu standart östenitik alaşımlardan daha kötü işlenirler (Yaz 1999). Genel olarak PH paslanmaz çelikleri pekleşme, BUE oluşumu, uzun ve yapışık talaş verme sebepleriyle işlenebilirliği zor bir malzeme olarak tanımlanmaktadır (Mohanty 2014). Açıkça görüldüğü üzere, son yıllarda endüstrideki uygulamalardan dolayı paslanmaz çeliğin kullanımı artmıştır. Ancak bu malzemelerin işlenmesi oldukça zordur. Talaşın zor oluşması, oluşan talaşın zor uzaklaştırılması, yığıntı talaş oluşumu ve soğuk kaynaklanma eğilimi nedeniyle paslanmaz çeliklerin işlenmesi problemlidir.

Palanisamy ve Senthil (2018) yapmış oldukları çalışmada, 15-5 PH paslanmaz çeliğinin kriyojenik ve geleneksel olarak ısı ıyşlemi sonrası TiAlN kaplamalı takımlarla tormalanması esnasında oluşan teğetsel kesme kuvveti, takım aşınması, talaş oluşumu ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Çalışmada mekanik özellikler ve mikro yapıyı farklı ısı ıyşlem koşullarında değerlendirmişlerdir. Düşük ilerleme oranı ve yüksek kesme hızlarında düşük kesme kuvveti ve düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Kriyojenik işlem görmüş numunelerde daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Yaşar vd. (2017), yaptıkları çalışmada 17-4 PH paslanmaz çeliğinin tormalanmasında farklı kaplama türlerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda düşük kesme hızlarında CVD kaplamalı takımlar daha üstünken, genel olarak PVD kaplamalı takımların CVD kaplamalı takımlara göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü sonuçları elde edildiği belirtilmiştir. Palanisamy vd. (2016), ticari olarak kullanılan 15-5 PH çökeltmeyle sertleştirilmiş paslanmaz çeliğinin mekanik özellikleri ve ıyçyapısı arasındaki ilişkiyi farklı yaşlandırma biçimlerinde işlenebilirlik davranışıyla belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. İş parçası sertliğinin talaş oluşumunu oldukça etkilediğini belirtmişlerdir. İstatistiksel analizden, ilerleme oranının hem kesme kuvvetini hem de yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre olduğu belirlenmiştir. Mohanty vd. (2016), kuru işleme şartlarında 17-4 PH çeliğinin tormalanması esnasındaki işleme karakteristiklerini incelemişlerdir. Bu kapsamda talaş morfolojisi, takım aşınması, kesme sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğü incelemişlerdir. Sonuç olarak kaplamasız takımlar için yüksek kesme hızlarının takım aşınmasına sebep olduğunu, tüm kesme hızlarında her iki kesici takımında da artan işleme mesafesiyle takım aşınmasının arttığını, kesme hızındaki artışın sıcaklığı artırdığını, CVD kaplamalı takımın kaplamasız takıma göre daha fazla ısı ürettiğini belirlemişlerdir. Çelik ve Kıvak (2016), yapmış oldukları çalışmada 17-4 PH çeliğinin minimum miktarda yağlama (MQL) kullanılarak tormalanmasında farklı kesme yağlarının ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırmışlardır. S/N grafikleri sonucunda optimum yüzey pürüzlülük değerini 320 m/dk kesme hızı, 90 ml/sa debisi olan bitkisel esaslı kesme yağı kullanılarak elde edilebileceğini belirlemişlerdir. Ay ve Basmacı (2016), yaptıkları çalışmada geleneksel ve wiper kaplamalı karbür takımlarla 17-4 PH paslanmaz çeliğinin kuru kesme şartlarında tormalama yöntemiyle işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerini, yüzey pürüzlülüğünü ve malzeme yüzey sertliğini araştırmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü açısından en etki faktörün her iki kesici uç için de ilerleme

oranı olduğunu, ancak kesme derinliği ve kesme hızının da etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ay ve Kalyon (2011), yaptığı çalışmada 17-4 PH paslanmaz çeliğinin farklı uç yarıçapına sahip PVD kaplamalı (TiAlN) kesici uçlarla ilerleme oranı, takım uç yarıçapı ve kesme derinliğinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır. 0.1 mm/dev ilerleme oranı, 1 mm kesme derinliği ve 0.8 mm uç yarıçapı ile en iyi yüzey kalitesinin elde edildiğini, artan ilerleme oranı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğünü olumsuz olarak etkilediğini, uç yarıçapının büyümesine rağmen yüzey pürüzlülüğünün arttığını belirlemişlerdir. Pek çok çalışmada (Sivaiah ve Chakradhar 2018, 2017, Çetin ve Kıvak 2017) 17-4 PH ve 15-5 PH çeliklerinin işlenebilirliğinin zor olduğu vurgulanmış ve bu malzemelerin işlenebilirlik parametrelerinin incelenmesinin ve en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesinin gerekliliği vurgulanmıştır. Yapılan literatür araştırması değerlendirildiğinde, paslanmaz çelikler üzerinde pek çok çalışmanın olduğu görülmüştür. Ancak, çökellemeyle sertleşebilen paslanmaz çelikler üzerinde sınırlı sayıda işlenebilirlik çalışmasının olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu iki malzemenin işlenebilirliğinin kıyaslandığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu malzemelerin genellikle, perçinlerde, kompresör pervanesinde, enerji santrallerindeki türbinlerde, yük taşıma özelliği olan millerde, nükleer reaktör bileşenlerini içeren endüstrilerde, petrol, kimyasal, havacılık, deniz, medikal ve askeri endüstrilerde kullanıldığı göz önüne alınırsa tormalama işleminin önemi daha belirgin hale gelmektedir.

Bu çalışmada; CVD ve PVD kaplama yöntemleriyle kaplanmış karbür kesici takımlar kullanılarak 17-4 PH ve 15-5 PH paslanmaz çelik malzemelerin tormalanmasında Taguchi L_{16} karma seviye deney tasarımı ile farklı kesme parametrelerinin; kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılarak karşılaştırılmıştır. Kesme parametrelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri ANOVA ile belirlenmiştir. Optimum kesme parametreleri belirlendikten sonra, tormalama işlemi sonrası ek bir işleme ihtiyaç duyulmadan operasyonun tamamlanmasıyla üretim maliyetlerinin ve işleme süresinin azaltılması, üretim verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Deney Numuneleri

Deneylerde iş parçası malzemesi olarak çökelleme yoluyla sertleştirilebilen paslanmaz çeliklerden martenzitik yapıda olan 17-4 PH ve 15-5 PH çelikleridir. Deney numuneleri 80 mm çapında 500 mm uzunluğunda silindirik malzemeler

kullanılmıştır. TS ISO 3685 standardı göz önünde bulundurularak boy/çap oranı 10/1'den küçük olmasına dikkat edilmiştir. Deney malzemesi, ayna ve punta arasında işlemeye uygun olması için alın yüzeylerine 120° koruyucu havşası olan punta delikleri açılmıştır. Belirtilen malzeme özellikleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. 17-4 PH malzemesinin kimyasal bileşenleri (% ağırlık).

C	Mn	Si	P	S	Cr
0.018	0.818	0.318	0.0241	0.0202	15.311
Ni	Mo	Cu	Nb	Co	Ta
4.517	0.142	3.082	0.196	0.063	0.01

Çizelge 2. 15-5 PH malzemesinin kimyasal bileşenleri (% ağırlık).

C	Mn	Si	P	S	Cr
0.011	0.63	0.39	0.025	<0.001	15.22
Ni	Mo	Cu	Nb	Ta	
4.95	0.09	3.09	0.195	0.01	

2.2. Takım Tezgâhı

İşlenebilirlik deneylerinde Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde bulunan 10 kW gücünde, 3500 dev/dk maksimum devir sayısına sahip olan Johnford TC35 marka sanayi tipi CNC torna tezgâhı kullanılmıştır.

2.3. Kesici Takım ve Kesme Parametreleri

Deney tasarımı, kesme parametrelerinin deneysel süreç içerisindeki bilinmeyen özelliklerinin belirlenmesi ve değişkenler arasındaki etkileşimlerin analizi ve modellenmesi için güçlü bir istatistiksel yöntemdir. Endüstriyel alanlarda, Taguchi yöntemi kullanılarak tasarım ve üretim için ürün geliştirme zamanı azaltılmakta ve buna bağlı olarak maliyetler düşürülerek işletmenin kâr oranı artırılmaktadır. Ayrıca, Taguchi yöntemi geleneksel deney tasarımının dikkate almadığı kontrol edilemeyen faktörlerin meydana getirdiği değişkenliğin denetimine izin vermektedir (Günay 2013). Deneysel sonuçlara %80 güven düzeyinde Varyans analizi (ANOVA) uygulanarak kesme parametreleri üzerinde değişkenlerin etki seviyeleri belirlenmiştir. Deneylerde yeni nesil takımlar olan Sumitomo marka PVD kaplamalı WNMG080408NSU AC6040M ve CVD kaplamalı WNMG080408NSU AC6030M kesici takımlar kullanılmıştır. 0.8 mm uç yarıçapına sahip olan bu takımlar ile DWLNR2525M08 takım tutucu kullanılmıştır. Dört farklı

kesme hızı, dört farklı ilerleme oranı ve dört farklı kesme derinliği kesme parametreleri olarak seçilmiştir. Kontrol faktörleri ve seviyeler Çizelge 3'de gösterilmiştir. Bu kontrol faktörleri ile Taguchi L_{16} karma seviye deney tasarımı uygulanmıştır. Oluşturulan deney tasarımı Çizelge 4'de verilmiştir. Burada V kesme hızını, f ilerleme oranını, a kesme derinliğini ve C kaplama türünü ifade etmektedir.

2.4. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Talaş kaldırma esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni olan; ilerleme kuvveti F_x (F_f), radyal kuvvet F_y (F_r) ve esas kesme kuvvetlerini F_z (F_c) ayrı ayrı ölçebilen Kistler 9257B tipi piezoelektrik dinamometre kullanılmıştır. Bu dinamometre Kistler Type 5019 sinyal yükselticiye (Multichannel Charge Amplifier) bağlanmış ve kesme kuvvetleri RS-232C ara

kablo ile bilgisayara gönderilmiştir. Kuvvetlerin bilgisayar ortamında grafik olarak elde edilmesi için ise DynoWare Type 2825Ai-2 adlı program kullanılmıştır. Ölçülen kuvvetlerin bileşkesi alınarak kesme kuvvetleri oluşturulmuştur.

2.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Bu araştırma kapsamında belirlenmiş olan kesme parametrelerinin yüzey kalitesine olan etkileri ve optimum parametrelerin tespiti esastır. Bu amaçla, belirlenmiş kesme parametrelerine bağlı olarak deneysel çalışmalar sonucu elde edilen yüzeylerin yüzey kalitesini ölçmek amacıyla ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) esas alınmıştır. 0.8 mm örnekleme uzunluğu ve 5.6 mm ölçüm uzunluğu kullanılarak yüzeylerden altı ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır. Yüzey kalitesini belirlemek amacıyla, işlenmiş yüzeylerde ortalama

Çizelge 3. Kontrol faktörleri ve seviyeler.

Kontrol faktörleri	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Kesme hızı (m/dk)	V	150	168	188	210
İlerleme oranı (mm/dev)	f	0.15	0.2	0.25	0.3
Talaş derinliği (mm)	a	1.5	2	2.5	3
Kaplama türü	C	PVD	CVD		

Çizelge 4. Taguchi L_{16} karma seviye deney tasarımı.

17-4 PH						15-5 PH					
Deney no	Değişkenler	V	f	a	C	Deney no	Değişkenler	V	f	a	C
1	$V_{11}f_{11}a_{11}C_{11}$	1	1	1	1	1	$V_{11}f_{11}a_{11}C_{11}$	1	1	1	1
2	$V_{12}f_{12}a_{12}C_{11}$	1	2	2	1	2	$V_{12}f_{12}a_{12}C_{11}$	1	2	2	1
3	$V_{13}f_{13}a_{13}C_{22}$	1	3	3	2	3	$V_{13}f_{13}a_{13}C_{22}$	1	3	3	2
4	$V_{14}f_{14}a_{14}C_{22}$	1	4	4	2	4	$V_{14}f_{14}a_{14}C_{22}$	1	4	4	2
5	$V_{21}f_{21}a_{21}C_{11}$	2	1	2	2	5	$V_{21}f_{21}a_{21}C_{11}$	2	1	2	2
6	$V_{22}f_{22}a_{22}C_{22}$	2	2	1	2	6	$V_{22}f_{22}a_{22}C_{22}$	2	2	1	2
7	$V_{23}f_{23}a_{23}C_{11}$	2	3	4	1	7	$V_{23}f_{23}a_{23}C_{11}$	2	3	4	1
8	$V_{24}f_{24}a_{24}C_{11}$	2	4	3	1	8	$V_{24}f_{24}a_{24}C_{11}$	2	4	3	1
9	$V_{31}f_{31}a_{31}C_{11}$	3	1	3	1	9	$V_{31}f_{31}a_{31}C_{11}$	3	1	3	1
10	$V_{32}f_{32}a_{32}C_{11}$	3	2	4	1	10	$V_{32}f_{32}a_{32}C_{11}$	3	2	4	1
11	$V_{33}f_{33}a_{33}C_{22}$	3	3	1	2	11	$V_{33}f_{33}a_{33}C_{22}$	3	3	1	2
12	$V_{34}f_{34}a_{34}C_{22}$	3	4	2	2	12	$V_{34}f_{34}a_{34}C_{22}$	3	4	2	2
13	$V_{41}f_{41}a_{41}C_{22}$	4	1	4	2	13	$V_{41}f_{41}a_{41}C_{22}$	4	1	4	2
14	$V_{42}f_{42}a_{42}C_{22}$	4	2	3	2	14	$V_{42}f_{42}a_{42}C_{22}$	4	2	3	2
15	$V_{43}f_{43}a_{43}C_{11}$	4	3	2	1	15	$V_{43}f_{43}a_{43}C_{11}$	4	3	2	1
16	$V_{44}f_{44}a_{44}C_{11}$	4	4	1	1	16	$V_{44}f_{44}a_{44}C_{11}$	4	4	1	1

yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerini ölçmek için yüzey pürüzlülük cihazı Mitutoyo SJ-410 cihazı kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 1'de gösterilmiştir.

3. Sonuçlar

Yapılan çalışma kapsamında Taguchi L_{16} karma seviyenin deney tasarımının kullanıldığı deneylerde, dört farklı kesme hızı, dört farklı ilerleme oranı, dört farklı kesme derinliği ve iki farklı kaplamalı takım kullanılarak optimum parametreler bulunmuş ve etki oranları belirlenmiştir. Ayrıca ANOVA sayesinde her bir parametrenin kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etki oranları bulunmuştur. Minitab programında Taguchi L_{16} karma seviye ile oluşturulan matematiksel modeller her bir malzeme için ayrı ayrı hazırlanmıştır.

17-4 PH malzemesi için oluşturulan kesme kuvveti denklemleri için aşağıdaki gibidir:

$$F_{PVD} = -522.675 - 2.26387 \cdot V + 4475.15 \cdot f + 515.396 \cdot a \quad (1)$$

$$F_{CVD} = -491.171 - 2.26387 \cdot V + 4475.15 \cdot f + 515.396 \cdot a \quad (2)$$

15-5 PH malzemesi için oluşturulan kesme kuvveti denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$F_{PVD} = -504.431 - 2.45364 \cdot V + 4687.45 \cdot f + 512.358 \cdot a \quad (3)$$

$$F_{CVD} = -471.013 - 2.45364 \cdot V + 4687.45 \cdot f + 512.358 \cdot a \quad (4)$$

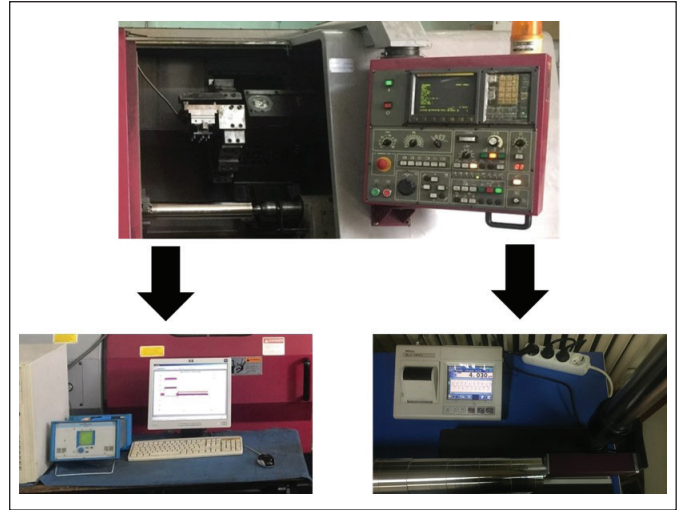
17-4 PH malzemesi için elde edilen güvenilirlik oranı %98.38 olup, 15-5 PH malzemesi için %99.24 olarak elde edilmiştir.

17-4 PH ve 15-5 PH malzemeleri için kesme kuvvetleri açısından girdi parametrelerinin sinyal gürültü oranları ve ortalama etkileri Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.

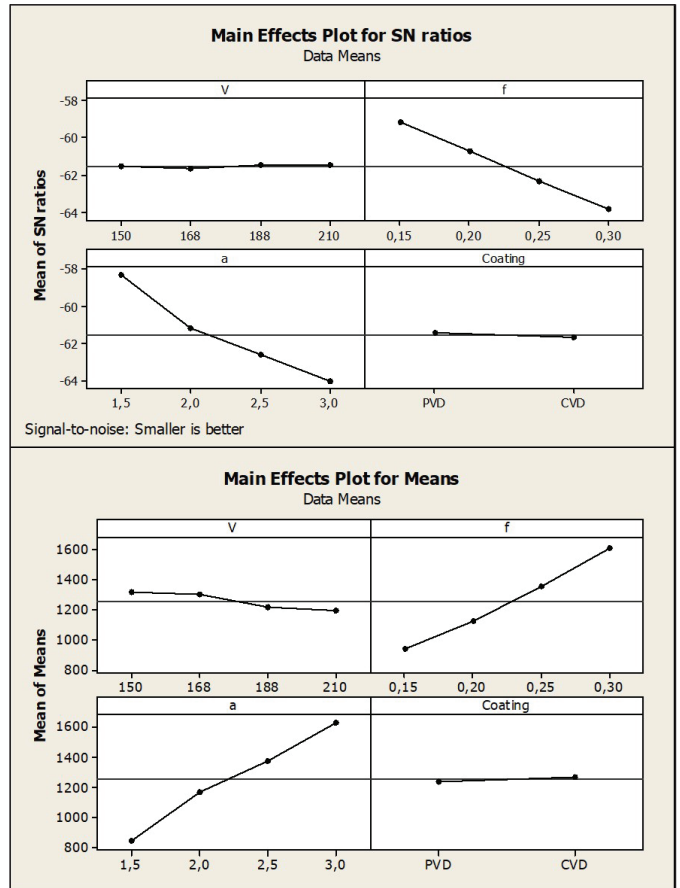
ANOVA ile elde edilen girdi parametrelerinin kesme kuvvetine etki oranları Çizelge 5'de gösterilmiştir.

En küçük-en iyi metoduna göre hesaplanan sinyal-gürültü oranları incelendiğinde; 17-4 PH için kesme kuvveti açısından optimum kesme parametreleri 210 m/dk kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme oranı ve 1.5 mm kesme derinliği ve PVD kaplama olarak belirlenmiştir. Genel olarak ortalama etkiler ve varyans analizi incelendiğinde, en etkin parametrelerin %55.03 ile kesme derinliği ve onu takiben %41.49 ile ilerleme oranı olduğu söylenebilir. 15-5 PH için optimum

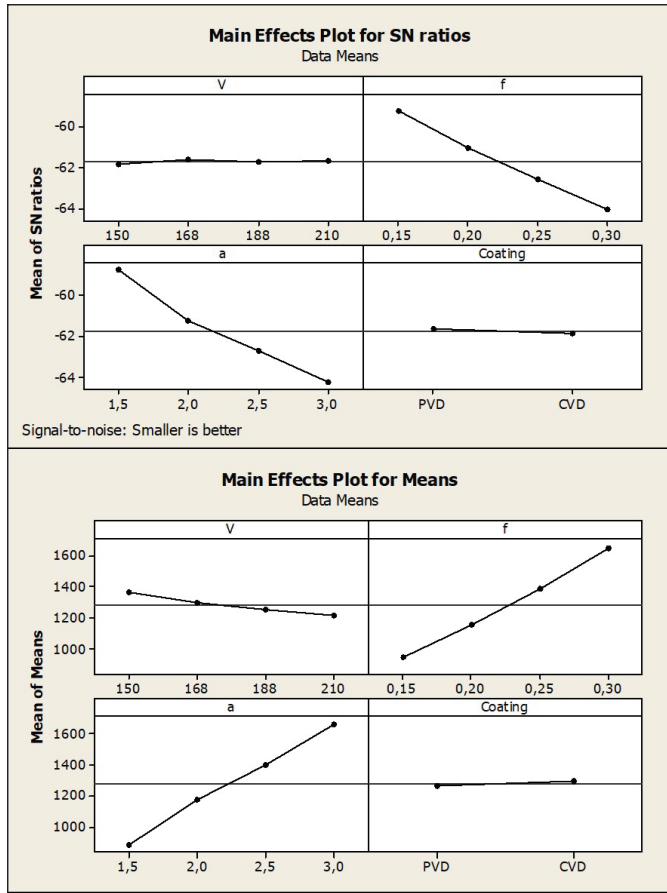
kesme parametreleri 168 m/dk kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme oranı ve 1.5 mm kesme derinliği ve PVD kaplama olarak belirlenmiştir. Genel olarak ortalama etkiler ve varyans analizi incelendiğinde, en etkin parametrelerin %52.87



Şekil 1. Deney düzeneği.



Şekil 2. 17-4 PH için kesme kuvvetleri açısından S-N oranları ve ortalama etkiler.



Şekil 3. 15-5 PH için kesme kuvvetleri açısından S-N oranları ve ortalama etkiler.

ile kesme derinliği ve onu takiben %44.25 ile ilerleme oranı olduğunu söyleyebilir.

17-4 PH malzemesi için oluşturulan yüzey pürüzlülüğü denklemleri için aşağıdaki gibidir:

$$Ra_{PVD} = -1.30389 - 0.000943239 \cdot V + 10.9565 \cdot f + 0.47595 \cdot a \quad (5)$$

$$Ra_{CVD} = -1.24501 - 0.000943239 \cdot V + 10.9565 \cdot f + 0.47595 \cdot a \quad (6)$$

15-5 PH malzemesi için oluşturulan yüzey pürüzlülüğü denklemleri aşağıdaki gibidir:

$$Ra_{PVD} = -1.33501 - 0.000179111 \cdot V + 14.2889 \cdot f + 0.0049375 \cdot a \quad (7)$$

$$Ra_{CVD} = -1.09473 - 0.000179111 \cdot V + 14.2889 \cdot f + 0.0049375 \cdot a \quad (8)$$

17-4 PH malzemesi için elde edilen güvenilirlik oranı %87.11 olup, 15-5 PH malzemesi için %96.38 olarak elde edilmiştir.

17-4 PH ve 15-5 PH malzemeleri için yüzey pürüzlülüğü açısından girdi parametrelerinin sinyal gürültü oranları ve ortalama etkileri Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmiştir.

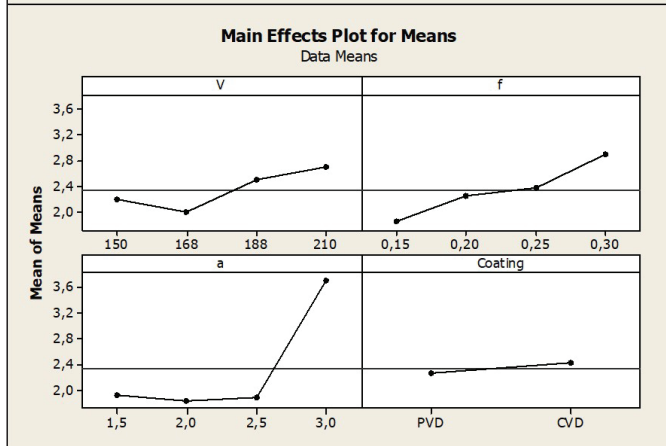
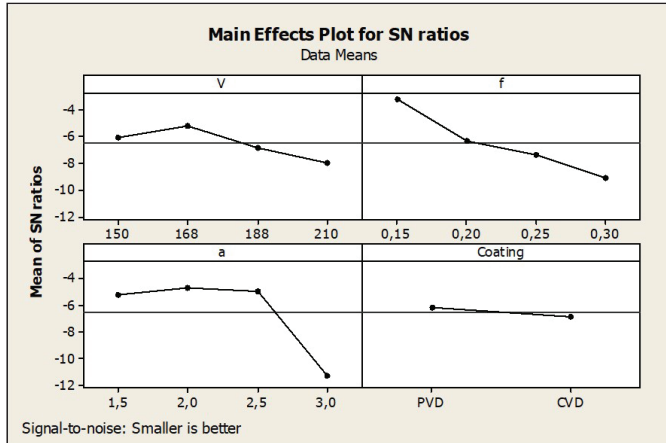
ANOVA ile elde edilen girdi parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki oranları Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5. Kesme kuvvetleri açısından girdi parametrelerinin etki oranları.

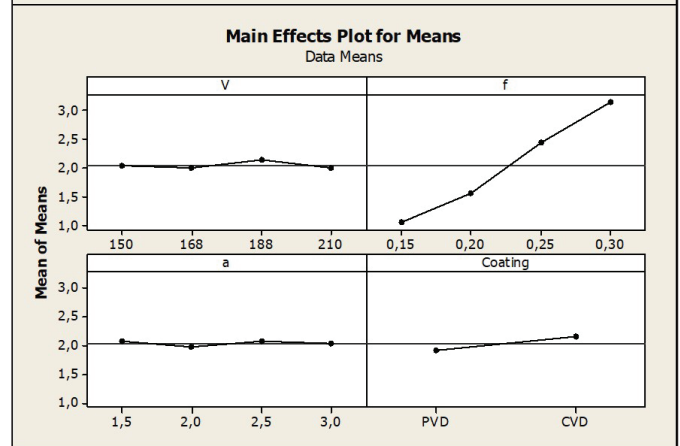
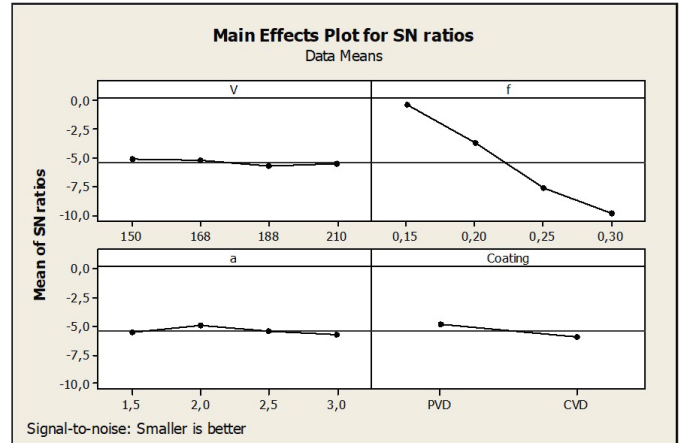
17-4 PH						
Kaynak	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	%Etki
V	1	41083	41083	11.557	0.005	%1.70
f	1	1001350	1001350	281.682	0	%41.49
a	1	1328167	1328167	373.616	0	%55.03
C	1	3970	3970	1.117	0.313	%0.16
Hata	11	39104	3555			%1.62
Toplam	15	2413673				%100
15-5 PH						
Kaynak	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	%Etki
V	1	48259	48259	28.062	0	%1.94
f	1	1098608	1098608	638.821	0	%44.25
a	1	1312554	1312554	763.227	0	%52.87
C	1	4467	4467	2.598	0.135	%0.18
Hata	11	18917	1720			%0.76
Toplam	15	2482806				%100

Çizelge 6. Yüzey pürüzlülüğü açısından girdi parametrelerinin etki oranları.

17-4 PH						
Kaynak	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	%Etki
V	1	0.00713	0.00713	0.0741	0.790	%0.09
f	1	6.00224	6.00224	62.3361	0	%73
a	1	1.13264	1.13264	11.763	0.005	%13.7
C	1	0.01387	0.01387	0.144	0.711	%0.17
Hata	11	1.05917	0.09629			%12.89
Toplam	15	8.21506				%100
15-5 PH						
Kaynak	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	%Etki
V	1	0.0003	0.0003	0.007	0.933	%0
f	1	10.2086	10.2086	286.423	0	%94.24
a	1	0.0001	0.0001	0.003	0.954	%0
C	1	0.2309	0.2309	6.48	0.027	%2.13
Hata	11	0.3921	0.0356			%3.62
Toplam	15	10.832				%100



Şekil 4. 17-4 PH için yüzey pürüzlülüğü açısından S-N oranları ve ortalama etkiler.



Şekil 5. 15-5 PH için yüzey pürüzlülüğü açısından S-N oranları ve ortalama etkiler.

Çizelge 7. Deneylerde elde edilen sonuçlar.

17-4 PH			15-5 PH		
Deney no	Kesme kuvveti (N)	Yüzey pürüzlülüğü (μm)	Deney no	Kesme kuvveti (N)	Yüzey pürüzlülüğü (μm)
1	1789.63	2.946	1	1775.78	2.093
2	1434.81	2.466	2	1473.86	1.648
3	2103.36	3.494	3	2163.15	3.139
4	1201.26	1.919	4	1243.91	1.283
5	1716.69	2.544	5	1765.46	3.140
6	1023.29	0.954	6	1012.48	0.990
7	1516.27	2.387	7	1548.08	2.735
8	1250.05	1.690	8	1266.21	1.469
9	1017.13	1.740	9	1094.17	1.309
10	1222.89	1.937	10	1222.03	2.295
11	906.87	0.949	11	855.43	0.996
12	1512.82	2.736	12	1530.83	3.334
13	619.28	1.131	13	645.47	0.954
14	1085.43	2.789	14	1121.56	2.958
15	774.94	1.547	15	789.20	1.757
16	895.62	2.256	16	981.33	2.595

Çizelge 8. Doğrulama deneyleri ve optimum sonuçlar.

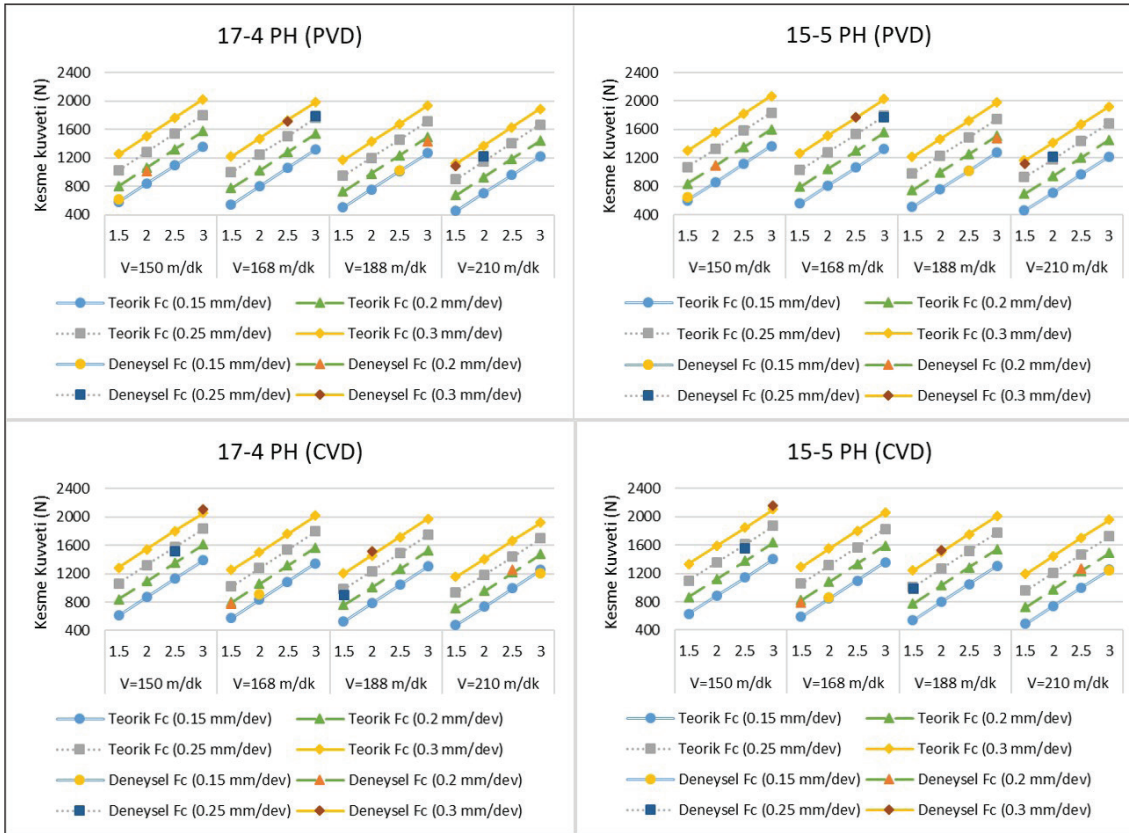
	Kesme kuvveti (N)		Yüzey pürüzlülüğü (μm)	
	Tahmin edilen	Doğrulama deneyleri	Tahmin edilen	Doğrulama deneyleri
17-4 PH	446.28	460.56	1.133	1.146
		466.83		1.235
		472.57		1.339
15-5 PH	555.01	588.85	0.845	0.895
		595.94		0.969
		601.28		1.028

En küçük-en iyi metoduna göre hesaplanan sinyal-gürültü oranları incelendiğinde; 17-4 PH için yüzey pürüzlülüğü açısından optimum kesme parametreleri 168 m/dk kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme oranı ve 2 mm kesme derinliği ve PVD kaplama olarak belirlenmiştir. Genel olarak ortalama etkiler ve varyans analizi incelendiğinde, en etkin parametrenin %73.06 ile ilerleme oranı olduğunu söylenebilir. 15-5 PH için optimum kesme parametreleri

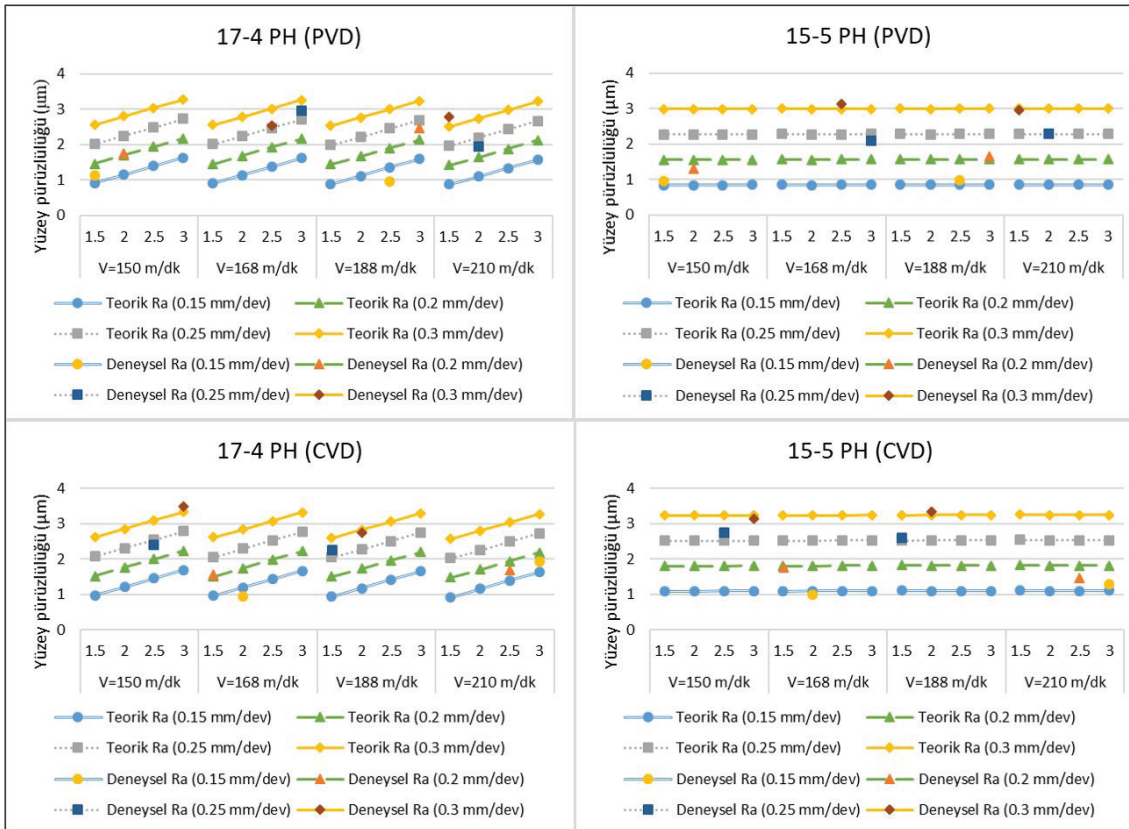
150 m/dk kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme oranı ve 2 mm kesme derinliği ve PVD kaplama olarak belirlenmiştir. Genel olarak ortalama etkiler ve varyans analizi incelendiğinde, en etkin parametrenin %94.24 ile ilerleme oranı olduğunu söylenebilir.

Kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde matematiksel modellerden elde edilen denklemlerde belirlenen kesme parametreleri yerine konularak, her bir malzeme için toplamda 128 adet değer elde edilmiştir. Bu değerler deneysel veriler ile kıyaslanmış ve yorumlanmıştır. Deneylerden elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 7'de verilmiştir. Deneysel verilerden elde edilen değerler matematiksel modeller ile örtüşmektedir. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü sonuçları Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

Bulunan optimum parametreler, Taguchi deney tasarımı içinde bulunmadığı için doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiş olup, bu deney sonuçları Çizelge 8'de sunulmuştur. Her bir sonuç için üç adet doğrulama deneyi gerçekleştirilmiştir. Doğrulama deney sonuçları incelendiğinde, optimizasyonun başarı ile uygulandığı görülmektedir.



Şekil 6. Malzeme ve kaplama türüne göre oluşan kesme kuvvetleri.



Şekil 7. Malzeme ve kaplama türüne göre oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri.

4. Tartışma

Artan kesme derinliği ve ilerleme oranı ile kesme kuvvetlerinin her iki malzeme ve kaplama türünde arttığı görülmektedir. İlerleme oranı ve kesme derinliğinin artışı ile kesme kuvvetinin artmasının talaş kesit alanının artışı olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmektedir (Uzun vd. 2017, Gürbüz vd. 2011). Ayrıca her iki kaplama türünde de kesme hızının artması ile kesme kuvvetinde bir miktar azalma görülmektedir. Artan kesme hızı ile kesme kuvvetindeki azalma, sıcaklığın artması ile takım talaş yüzey alanının ve ikinci deformasyon bölgesi olan akma bölgesinde kayma dayanımının azalmasından ve buna ek olarak sıcaklık artışıyla talaş akma bölgesinin oluşumu ile talaşın akışının kolaylaşmasından dolayı gözlemlendiği düşünülmektedir (Uzun vd. 2017, Gürbüz vd. 2011). En düşük kesme kuvveti PVD kaplamalı takımında, en yüksek ise CVD kaplamalı takımında gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ise PVD kaplamalı takımın CVD kaplamalı takıma göre daha keskin bir kesme kenarına sahip olması olduğu düşünülmektedir (Koyilada vd. 2016, Thakur ve Gandopadhyay 2016).

Artan ilerleme oranı ile her iki malzeme ve kaplama türünde yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülmektedir. Her iki kaplama türünde artan ilerleme oranı ile yüzey pürüzlülüğünün artışı yine literatür ile benzeşmektedir. İlerleme oranının karesinin yüzey pürüzlülüğü ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Yaşar vd. 2017, Günay 2013, Gürbüz vd. 2011). 17-4 PH malzemesinde her iki kaplama türünde artan kesme derinliği ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülürken, 15-5 PH malzemesinde değişim gözlemlenmemiştir. Artan kesme derinliğinde 17-4 PH malzemesinde yüzey pürüzlülüğünün artmasının sebebinin, artan talaş kesit alanı ve artan talaş yükü olduğu düşünülmektedir (Gürbüz vd. 2011). Artan kesme hızının her iki malzeme ve kaplama türünde belirgin bir etkisi gözlemlenmemiştir.

Sonuç olarak 17-4 PH ve 15-5 PH için kesme kuvveti açısından optimum kesme parametreleri 210 m/dk ve 168 m/dk kesme hızları, 0.15 mm/dev ilerleme oranı, 1.5 mm kesme derinliği ve PVD kaplama olarak belirlenmiştir. En etkin parametreler %55.03 ve %52.87 ile kesme derinliği ve onu takiben %41.49 ve %44.25 ile ilerleme oranı olarak tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından optimum kesme parametreleri 168 m/dk ve 150 m/dk kesme hızları, 0.15 mm/dev ilerleme oranı, 2 mm kesme derinliği ve PVD kaplama olarak belirlenmiştir. En etkin parametre %73.06 ve %94.24 ile ilerleme oranı olarak belirlenmiştir. Artan kesme derinliği ve ilerleme oranlarının kesme kuvvetlerini her iki

malzeme ve kaplama türünde de arttırdığı görülmektedir. Ayrıca artan ilerleme oranı ile her iki malzeme ve kaplama türünde yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış görülmektedir.

5. Teşekkür

Yapılan çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 07/2018-14 kodu ile desteklenmiştir. Katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- Ay, M., Basmacı, G. 2016.** Investigation of the effects of conventional and wiper coated carbide tools with dry cutting on cutting forces, surface roughness, and material hardness in turning 17-4 PH stainless steel. *Online J Sci Technol*, 6(1):33–39.
- Ay, M., Kalyon, A. 2011.** CNC torna tezgahında 17-4 PH paslanmaz çeliğin işleme parametrelerinin deneysel olarak belirlenmesi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), s. 197–201, Elazığ.
- Çelik, E., Kıvık, T. 2016.** 17-4 PH paslanmaz çeliğin tornalanmasında minimum miktarda yağlamanın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri. 7th International Symposium On Machining, s. 214–221, İstanbul.
- Çetin, Ş., Kıvık, T. 2017.** Optimization of the machining parameters for the turning of 15-5 PH stainless steels using the Taguchi method. *Mater Technol*, 51(1):133–140.
- Çiftçi, İ., Kasap, M., Şeker, U. 1999.** Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirlik parametrelerinin belirlenmesi üzerine yapılmış deneysel çalışmalar. *Z.K.Ü. Karabük Tek Eğitim Fakültesi Teknol Derg*, 3–4:130–141.
- Günay, M. 2013.** Optimization with Taguchi method of cutting parameters and tool nose radius in machining of A 316L steel. *J Fac Eng Archit Gazi Univ*, 28(3):437–444.
- Koyilada, B., Gangopadhyay, S., Thakur, A. 2016.** Comparative evaluation of machinability characteristics of Nimonic C-263 using CVD and PVD coated tools. *Measurement*, 85:152–163.
- Mohanty, A., Gangopadhyay, S., Thakur, A. 2016.** On applicability of multilayer coated tool in dry machining of aerospace grade stainless steel. *Mater Manuf Process*, 31(7):869–879.
- Mohanty, A. 2014.** Influence of CVD multilayer coating on machinability characteristics of aerospace grade stainless steel. *Yüksek Lisans Tezi*, National Institute of Technology, 97 s.
- Palanisamy, D., Senthil, P. 2018.** A comparative study on machinability of cryo-treated and peak aged 15Cr-5Ni precipitation hardened stainless steel. *Measurement*, 116:162–169.

- Palanisamy, D., Senthil, P., Senthilkumar, V. 2016.** The effect of aging on machinability of 15Cr-5Ni precipitation hardened stainless steel. Arch Civ Mech Eng, 16(1):53–63.
- Sandvik Coromant. 1994.** Modern Metal Cutting: A Practical Hand Book, Sandvik Coromant, 960 s.
- Sivaiah, P., Chakradhar, D. 2018.** Comparative evaluations of machining performance during turning of 17-4 PH stainless steel under cryogenic and wet machining conditions. Mach Sci Technol, 22(1):147–162.
- Sivaiah, P., Chakradhar, D. 2017.** Machinability studies on 17-4 PH stainless steel under cryogenic cooling environment. Mater Manuf Process, 32(15):1775–1788.
- Thakur, A., Gangopadhyay, S. 2016.** Influence of tribological properties on the performance of uncoated, CVD and PVD coated tools in machining. Tribol Int, 102:198–212.
- Uzun, G., Yagmur, S., Korkut, İ., Şeker, U. 2017.** Hastelloy X süper alaşımının tornalanmasında kriyojenik işlem uygulanan PVD ve CVD kaplamalı takımların performansının incelenmesi. Gazi Univ J Sci Part C, 5:231–9.
- Yaşar, SA., Uzun, G., Korkut, İ. 2017.** 17-4 PH paslanmaz çeliklerin tornalanmasında farklı kaplama tiplerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi. II. International Academic Research Congress, s. 1410–1416, Antalya.
- Yaz, M. 1999.** Mangan ve silisyum katkılı yüksek Cr-Ni'li paslanmaz çelik dökümlerin talaşlı işlenebilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 84 s.



Enzyme Immobilization Onto Carbon Fiber Electrodes by Electrochemical Polymerization

Elektrokimyasal Polimerizasyonla Karbon Fiber Elektrotlara Enzim Tutuklaması

Hana Alsoul , Ayşe Elif Büyükbayram* 

Karabük University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Demir Çelik Campus, Karabük, Turkey

Abstract

New enzyme electrodes were fabricated by using carbon fiber as electrode substrate. Electrodes were obtained by immobilization of invertase in the conductive polypyrrole matrix during electrochemical polymerization onto laboratory-made carbon fiber electrodes. Maximum reaction rate, (V_{max}) and substrate affinity, (K_m), of immobilized enzyme were determined as $56.7 \mu\text{mol min}^{-1} \text{electrode}^{-1}$ and 1.57 mM respectively. The effect of conditions on enzyme activity was investigated. It was found that the optimum temperature, optimum pH value, linear working range are $30 \text{ }^\circ\text{C}$, pH 5.0 and $0.0025\text{--}0.0200 \text{ M}$ respectively. The electrodes were examined for operational stability. The results were compared with the previous studies in which invertase was immobilized onto platinum substrate.

Keywords: Carbon fiber electrode, Conducting polymer, Enzyme immobilization, Invertase

Öz

Elektrot malzemesi olarak karbon fiber kullanılarak yeni enzim elektrotları hazırlandı. Elektrotlar, laboratuvarında hazırlanan karbon fiber elektrotlar üzerine elektrokimyasal polimerizasyon esnasında invertazın iletken polipirol matrisinde tutuklanmasıyla elde edildi. Tutuklanan enzimin kinetik parametreleri, V_{max} (maksimum reaksiyon hızı) ve K_m (substratın enzim ilgisi) $56,7 \mu\text{mol dak}^{-1} \text{elektrot}^{-1}$ ve $1,57 \text{ mM}$ olarak elde edildi. Reaksiyon koşullarının enzim aktivitesine etkisi incelendi. Tutuklanmış enzimin optimum sıcaklığı, optimum pH'ı ve doğrusal çalışma aralığı $30 \text{ }^\circ\text{C}$, pH 5, ve $0,0025\text{--}0,0200 \text{ M}$ olarak bulundu. Elektrotların ardışık stabilitesi saptandı. Sonuçlar invertazın polipirol kaplı platin elektrotlara tutuklandığı daha önceki çalışmalarla karşılaştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Karbon fiber elektrot, İletken polimer, Enzim tutuklaması, İvertaz

1. Introduction


Carbon fiber, as an electrode substrate, is used in biosensors for *in vivo* and *in vitro* detection of species owing to its unique advantages such as chemical stability, biocompatibility and possibility for miniaturization. Carbon fiber electrodes (CF) attract great interest since they have larger surface area than other type of electrodes and are very convenient for surface modifications (Fei et al. 2005). Here, it has been used first time for invertase immobilization through the electrochemical polymerization.


Physical entrapment of enzyme in conducting polymer matrices by electrochemical polymerization is a considerable way of immobilization since it is a rapid, reliable, simple

and an economical way of enzyme deposition. Through the conducting polymers, polypyrrole has a special place with its superior properties (Deepa and Ahmad 2008, Tokonami et al. 2012) such as easy synthesis, longterm stability, resistance to air and water (Minkstimiene et al. 2011), stability to heating (Mehdina et al. 2012) and being biocompetitive (Ferraz et al. 2012). Owing to its solubility in water, the enzyme deposition becomes possible in aqueous media.

Invertase or β -D-fructofuranosidase (E.C.3.2.1.26) catalyzes the hydrolysis of sucrose to glucose and fructose which is known as invert sugar used widely in the production of noncrystallizing sugary foods. Although invertase has a lower possibility of finding a commercial use in its immobilized form since the soluble enzyme is available at little cost, it is one of the most studied enzymes because of its utilization as a model enzyme to give idea about the immobilization of high cost enzymes (Kiralp et al. 2003, Waifalkar et al. 2016, Cabrera et al. 2017).

*Corresponding author: aebuyukbayram@karabuk.edu.tr

Hana Alsoul  orcid.org/0000-0002-1630-3570

Ayşe Elif Büyükbayram  orcid.org/0000-0002-9085-6042

The present work describes new enzyme electrodes based on carbon fiber electrode material. In order to investigate the performance of this substrate, a common polymer matrix (PPy) and a model enzyme (invertase) were used. Optimization and characterization of enzyme electrodes are given in following sections.

2. Materials and Methods

High modulus Yutai T300 6K carbon fiber was used as electrode material. Invertase (E.C.3.2.1.26) Type V, pyrrole and sodium dodecyl sulphate (SDS) were supplied from Sigma. Constituents of Nelson reagent were of analytical grade. Wenking POS-88 potentiostat, GAMRY Instruments Interface 1000 Potentiostat/Galvanostat/ZRA, Shimadzu UV-1201-V spectrophotometer and JEOL Scanning Microscope Model JSM-6400 scanning electron microscope (SEM) were used for electrode preparation and characterizations.

2.1. Synthesis of Polymer and Immobilization

Carbon fiber with diameter of 30 μm and steel wire were connected to each other with teflon tape. Carbon fiber was inserted into the conical micropipette tip, secured by a cured epoxy resin. A glass tube was used to cover the wire. Typical three-electrode cell was used for electropolymerization, consisting of carbon fiber as working electrode, Pt foil as counter electrode and a Ag/Ag^+ as reference electrode. Immobilization of enzyme was achieved via electropolymerization of Py on carbon fiber substrate in 10 mL buffer solution. Acetate buffer (pH 5.0) including 0.6 mg/mL SDS (supporting electrolyte), 5.0 $\mu\text{L}/\text{mL}$ pyrrole, 0.6 mg/mL invertase was used for immobilization. Codeposition of enzyme and PPy was carried out by constant potential at 1.0 V for 30 min at room temperature.

2.2. Determination of Invertase Activity

Somogyi-Nelson method was used for determination of immobilized invertase activities (Hatanaka and Kobara 1980), in which different concentrations of sucrose were prepared (1.0 mL), enzyme electrode was immersed for 2,

4, 6 min, 1.0 mL of Nelson's reagent was added and the tubes were incubated into boiling water for 20 min. 1.0 mL of arsenomolibdate reagent and 7 mL water were added for total volume of 10.0 mL. Activities were calculated by reaction rates obtained from absorbances measured at 540 nm.

2.3. Kinetic Studies

Kinetic parameters of enzyme electrodes; maximum enzyme activity, V_{max} and Michaelis-Menten constant, K_m were obtained at optimum pH and 25 °C by using Michaelis-Menten method and Lineweaver-Burk graph (Lineweaver and Burk 1934).

2.4. pH and Temperature Examination and Daily Stability

Immobilized invertase activities were measured by scanning pH between 2 and 12 and incubation temperature between 10 °C and 80 °C. Consecutive 40 activity measurements were performed in order to investigate stability of enzyme electrodes. $5 K_m$ substrate concentration was used throughout the optimization and stability studies.

3. Results

3.1. Morphology of Carbon Fiber Electrodes

Morphological study of carbon fiber electrodes clearly proves the polymerization of pyrrole. SEM micrographs were used to examine the surface of electrodes. As seen on Figure 1, CF coated with polymer is almost two times thicker than bare CF. Electrode surface exhibits standard cauliflower structure of polypyrrole and average diameter of globules is 1 μm .

3.2. Polymerization

Electropolymerization on CF substrates was performed by cyclic voltammetry between +0.7 and -1.7 V for 14 cycles. Resulting voltammogram shows an incline in peak currents as the cycle number increases (Figure 2). Polymer thickness on the surface of CF increases as the polymerization proceeds, which resulted in an increase in current.

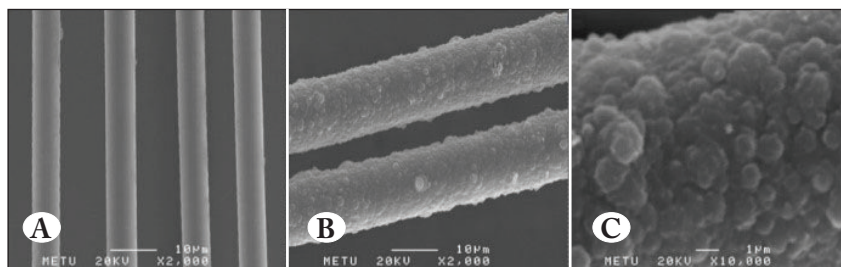


Figure 1. SEM micrographs of (A) bare CF magnified by 2,000 times, (B) polymer coated CF magnified by 2,000 times, (C) polymer coated CF magnified by 10,000 times.

3.3. Kinetic Parameters of Immobilized Invertase

Determination of kinetic parameters of immobilized invertase was performed by measuring the enzyme activities according to the procedure described previously.

Substrate concentration was raised until a constant rate of product formation was reached as shown on Figure 3A. It is considered as maximum speed of enzyme reaction, V_{max} . The substrate concentration corresponding half of the maximum speed is referred as K_m and this parameter represents the affinity between enzyme and its substrate. Lower K_m value

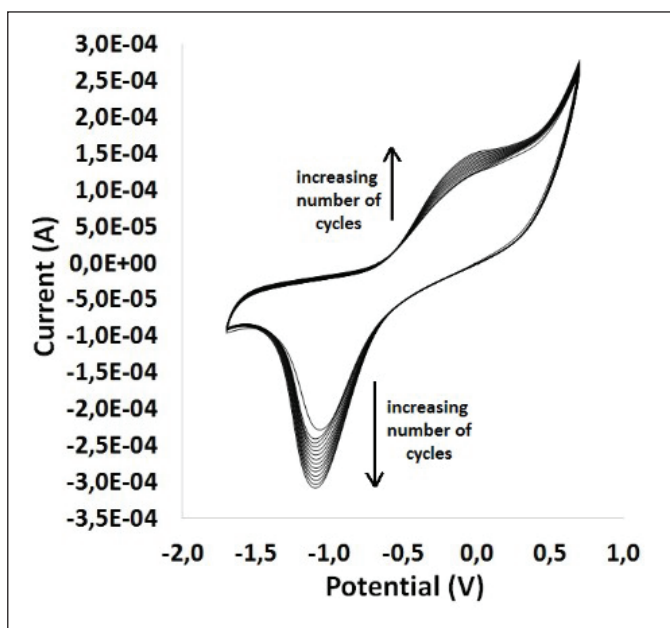


Figure 2. Polypyrrole synthesis on CF electrodes by cyclic voltammetry.

indicates higher affinity. From this curve, working range is obtained between 0.0025 M and 0.0200 M. K_m and V_{max} are determined from Lineweaver-Burk plot (Figure 3B) as 56.7 mM and $1.57 \mu\text{mol min}^{-1} \text{electrode}^{-1}$ respectively.

3.4. pH and Temperature Stability

The activity of the enzyme was followed between pH 2 and pH 12 (Figure 4A). At pH 3, the electrode exhibits a maximum activity. After pH 3, the activity declined and was lost at pH 9. In this study, pH 5 acetate buffer was used for practical reasons.

Changes in temperature has an influence on enzymes since they are heat sensitive protein molecules. This effect was demonstrated in Figure 4B. The maximum enzyme activity was revealed at temperature of 30 °C. Enzyme activity showed a decline after 30 °C because of denaturation, however, the electrodes can be used for a wider temperature ranges between 20 °C and 50 °C with a 75% activity.

3.5. Daily Stability

The stability study followed on Figure 5 shows a decline in activity during first 5 measurements. This situation is generally observed because of untrapped enzyme molecules which exist on the surface of electrode only by adsorption. These nearly free enzymes pour out to the solution during the first measurements. After electrode loses these unbounded enzyme molecules, it shows a steady activity. After those initial steps, the retained enzyme activity of 70% is kept until 40th measurement.

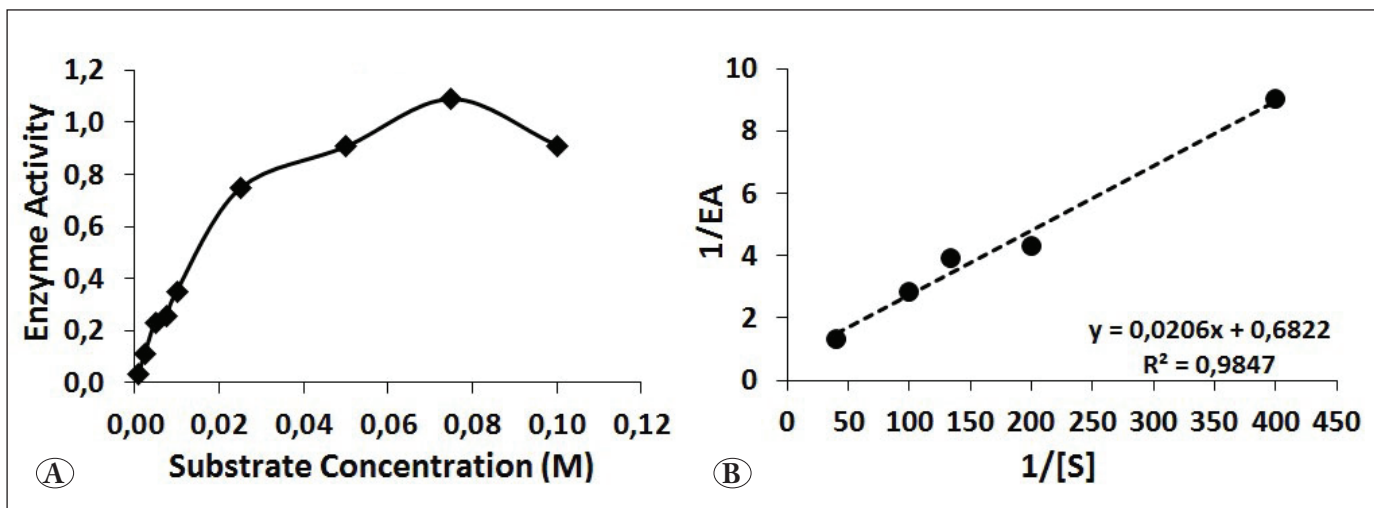


Figure 3. (A) Michaelis-Menten graphic, (B) Lineweaver-Burk plot of invertase.

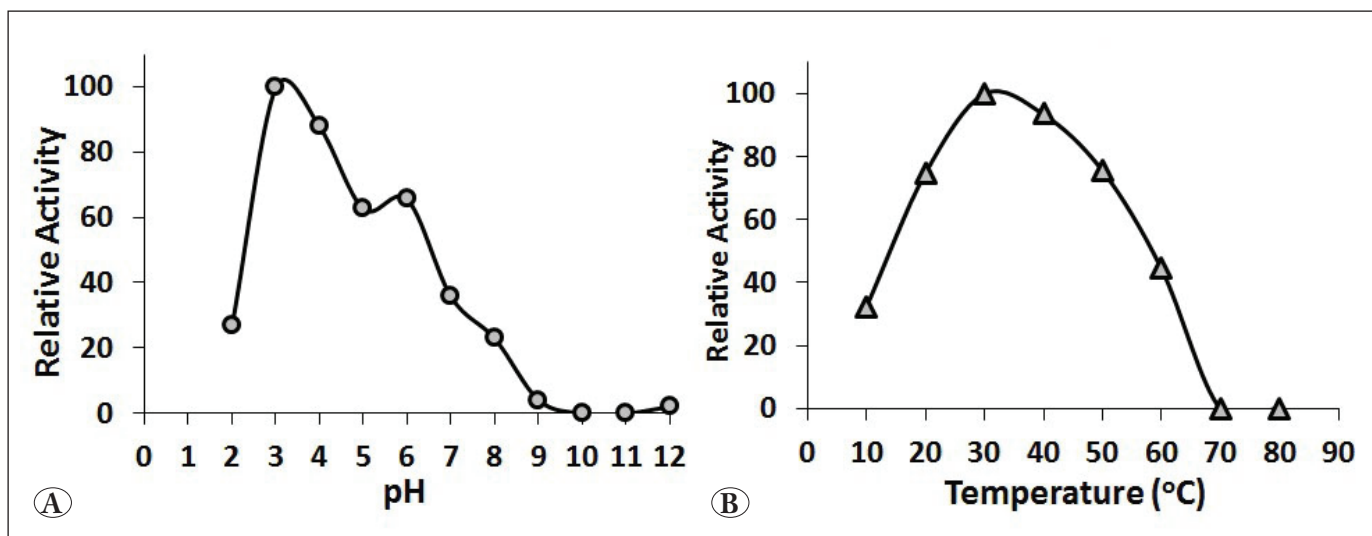


Figure 4. Effect of (A) pH and (B) incubation temperature on invertase activity.

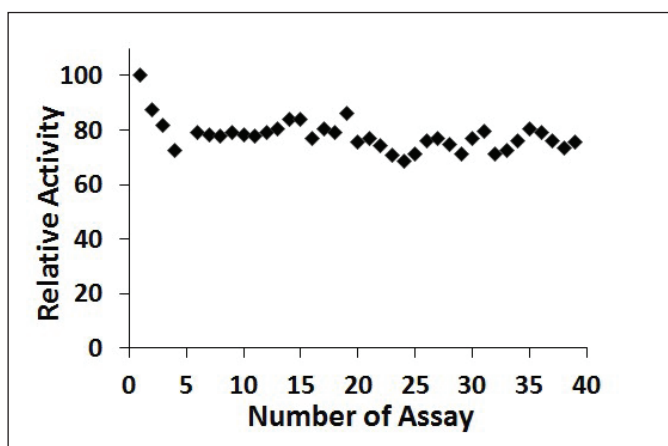


Figure 5. Stability of enzyme electrode upon consecutive measurements.

4. Discussion

Among the immobilization matrices, conducting polymers, particularly polypyrrole attract attention since they can be employed by entrapment method of immobilization during electrochemical polymerization. Entrapment, as being just confinement, is a method providing stability to immobilized enzyme. Several conducting polymers have been synthesized and used for invertase immobilization employing platinum plates as electrode material. Ak et al. performed a comparative study and found V_{\max} and K_m of free enzyme as $82.3 \mu\text{mol min}^{-1} \text{mL}^{-1}$ and 26mM , quite different than immobilized invertase into polypyrrole matrix that has V_{\max} and K_m as $3.0 \mu\text{mol min}^{-1} \text{electrode}^{-1}$ and 58.0mM (Ak et al. 2014). A drastic decrease in reaction rate upon immobilization is a

common result due to the presence of much lower amount of enzyme in immobilized form relative to free enzyme in solution. Besides, conformational changes of enzyme molecules formed through the immobilization eventuate in inactivation of some active sites of enzyme that results in a decline in V_{\max} . On the other hand, higher K_m observed for immobilized enzyme indicates a restricted diffusion of substrate towards enzyme located in a matrix which creates a diffusion barrier.

Sahmetlioğlu et al. entrapped invertase into copolymer of thiophene functionalized vinyl alcohol and polypyrrole on a platinum plate with dimension of $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ (Sahmetlioğlu et al. 2006). Recorded V_{\max} and K_m are $0.40 \mu\text{mol min}^{-1} \text{electrode}^{-1}$ and 60mM and V_{\max} is quite lower than the one obtained by Ak et al. for PPy matrix. Thiophene bonded side groups of vinyl alcohol provides more space between copolymer chains which causes invertase molecules entrapped loosely. Therefore, enzyme in this matrix may be lost back easily. The situation resulted in a lower amount of enzyme immobilized and consequently a lower V_{\max} . Invertase, in another study, was immobilized into Poly(SNS(NO_2)-*co*-Py) on the same dimension platinum electrode, in which the polymer chains are composed of alternating thiophene and pyrrole (SNS) with nitrobenzene side groups (Tuncagil et al. 2008). They obtained V_{\max} and K_m as $1.6 \mu\text{mol min}^{-1} \text{electrode}^{-1}$ and 50mM . V_{\max} here, is higher than Sahmetlioğlu's copolymer since the side group nitrobenzene is a shorter group relative to thiophene bonded vinyl alcohol, a situation resulted in a more closely packed polymer chains that keeps more enzyme molecules.

Another SNS type polymer with alternating thiophene and pyrrole units in the main chain and a benzene in the side group position was used and coated on the 1cm x 1cm platinum electrode (Celebi et al. 2009). V_{\max} and K_m represented in this study are $2.6 \mu\text{mol min}^{-1} \text{electrode}^{-1}$ and 40 mM. Side group benzene is a smaller substituent than nitrobenzene, which gives a much more closely packed structure and a higher V_{\max} with respect to Tuncagil's polymer. Invertase molecules are entrapped more and more as the polymer chains are packed more closely. Aydar et al. used Poly(EDOT-benzothiadiazole-EDOT) on the same type of platinum electrode. It is a copolymer with large main units in the skeleton, large benzothiadiazole units and large EDOT units which prevent formation of packed structure in a considerable degree (Aydar et al. 2011). Therefore, $0.96 \mu\text{mol min}^{-1} \text{electrode}^{-1}$ and 31.8 mM were obtained as V_{\max} and K_m . Through these examples, polypyrrole gives the most closely packed structure due to its linear chains without side group. This provides to the polypyrrole the highest quantity of V_{\max} as $3.0 \mu\text{mol min}^{-1} \text{electrode}^{-1}$. If it comes to comparison of K_m values, a remarkable difference is not seen between the first three polymers discussed above and polypyrrole which means that these matrices have almost similar diffusion barrier for substrate. Celebi and Aydar groups observed lower K_m values thus higher affinity between enzyme and substrate, which indicates an easier diffusion and a lower barrier in these polymer matrices.

V_{\max} and K_m obtained in the present study are $1.57 \mu\text{mol min}^{-1} \text{electrode}^{-1}$ 56.7 mM. V_{\max} is almost half of the value obtained by Ak et al. which is $3.0 \mu\text{mol min}^{-1} \text{electrode}^{-1}$. Among the studies in this area, present study is unique owing to using CF as microelectrode material with a diameter of 50 μm . Although dimension of CF electrode is considerably smaller than its platinum counter, the kinetic parameter V_{\max} of CF is just half of the one obtained by platinum. This means that the quantity of entrapped enzyme with CF is also half of the platinum electrode which indicates that surface area of the CF is half of its counter. It may be possible only if carbon fiber has a surface structure remarkably porous that results in a high surface area relative to platinum. When comparing different types of polymer, it should be considered with two criteria, polymer packing degree and electrode surface area, which makes the comparison difficult. Our V_{\max} is higher than the ones obtained by Sahmetlioglu et al. and Aydar et al., which implies a higher amount of enzyme immobilized to PPy coated CF electrode, which may be a result of higher surface area of CF or more closely packed structure of polymer. For other studies which has higher V_{\max} than

our value, there must be higher amount of immobilized enzyme again, because of the reasons above. V_{\max} presented by Tuncagil et al. is almost same with the one we obtained, indicating a balance between surface areas and polymer packing, which gives comparable V_{\max} 's. On the other hand, K_m , the affinity between enzyme and substrate is almost same with two types of electrode, polypyrrole coated platinum electrode and carbon fiber electrode, prepared in this study, coated with the same material. Here, electrode material does not affect the affinity because the microenvironment where enzyme and substrate meet each other is the polymer matrix. Since the polymer is same for both electrodes, affinity is almost same for two electrode types. When the stabilities of the electrodes above are considered, it is found that repeatability of the enzyme electrodes constructed by platinum is better than their CF counter.

By these results, it can be concluded that CF electrodes are superior to platinum substrate by being less expensive, ability to be used as microelectrode and entrapping relatively higher amount of enzyme. On the other hand, its repeatability is the parameter that needs to be improved.

5. Acknowledgement

We sincerely thank Prof.Dr. Şadi Şen for his valuable support to this study and gratefully acknowledge Karabük University Scientific Research Projects Funds (Project Number: KBÜBAP-17-DS-443).

6. References

- Ak, M., Yildiz, H.B., Toppare, L. 2014. Enzyme immobilization in a photosensitive conducting polymer bearing azobenzene in the main chain. *Polym. Bull.*, 71:1827–1841. <https://doi.org/10.1007/s00289-014-1157-7>
- Aydar, S., Büyükbayram, A.E., Şendur, M., Toppare, L. 2011. Immobilization of Invertase in DAD Type Polymers: Combination of Benzothiadiazole Acceptor Unit and 3,4-Ethylenedioxythiophene and Thiophene Donor Units. *J. Macromol. Sci. A*, 48: 855–861. <https://doi.org/10.1080/10601325.2011.614826>
- Cabrera, M.P., Assisa, Caio R.D., Neric, D.F.M., Pereirad, C.F., Soriab, F., Carvalho Jr., L.B. 2017. High sucrolytic activity by invertase immobilized onto magnetic diatomaceous earth nanoparticles. *Biotechnol. Rep.*, 14: 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.03.001>
- Çelebi, S., İbikcan, E., Kayahan Kiralp, S., Yiğitsoy, B., Toppare, L. 2009. Immobilization of Invertase in Copolymer of 2,5-Di(thiophen-2-yl)-1-p-Tolyl-1H-Pyrrole with Pyrrole. *J. Macromol. Sci. A*, 46: 739–744. <https://doi.org/10.1080/10601320903004434>

- Deepa, M., Ahmad, S. 2008.** Polypyrrole films electropolymerized from ionic liquids and in a traditional liquid electrolyte: A comparison of morphology and electro-optical properties. *Eur. Polym. J.*, 44: 3288–3299. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.07.045>
- Fei, J., Wu, K., Wang, F., Hu, S. 2005.** Glucose nanosensors based on redox polymer/glucose oxidase modified carbon fiber nanoelectrodes. *Talanta*, 65: 918–924. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2004.08.015>
- Ferraz, N., Stromme, M., Fellstrom, B., Phadhan, S., Nyholm, L., Mihranyan, A. 2012.** In vitro and in vivo toxicity of rinsed and aged nanocellulose–polypyrrole composites. *J. Biomed. Mater. Res. A*, 100A: 2128–2138. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.34070>
- Hatanaka, C., Kobara, Y. 1980.** Determination of glucose by a modification of Somogyi-Nelson method. *Agric. Biol. Chem.*, 44: 2943–2949. <https://doi.org/10.1080/00021369.1980.10864408>
- Kiralp, S., Toppare, L., Yagci, Y. 2003.** Immobilization of invertase in copolymers of thiophene functionalized menthyl ester with pyrrole. *Synth. Met.*, 135: 79–80. [https://doi.org/10.1016/S0379-6779\(02\)00565-9](https://doi.org/10.1016/S0379-6779(02)00565-9)
- Lineweaver, H. and Burk, D. 1934.** The Determination of Enzyme Dissociation Constants. *J. Am. Chem. Soc.*, 56: 658–666. <https://doi.org/10.1021/ja01318a036>
- Mehdinia, A., Bashour, F., Roohi, F., Jabbari, A. 2012.** A strategy to enhance the thermal stability of a nanostructured polypyrrole-based coating for solid phase microextraction. *Microchim. Acta*, 177: 301–308. <https://doi.org/10.1007/s00604-012-0771-z>
- Minkstimiene, A. K., Mazeiko, V., Ramanaviciene, A., Ramanavicius, A. 2011.** Evaluation of amperometric glucose biosensors based on glucose oxidase encapsulated within enzymatically synthesized polyaniline and polypyrrole. *Sens. Actuators B Chem.*, 158: 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2011.06.019>
- Sahmetlioglu, E., Y r k, H., Toppare, L., Cianga, I., Yagci, Y. 2006.** Immobilization of invertase and glucose oxidase in conducting copolymers of thiophene functionalized poly(vinyl alcohol) with pyrrole. *React. Funct. Polym.*, 66: 365–371. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2005.08.009>
- Tokonami, S., Saimatsu, K., Nakadoi, Y., Furuta, M., Shiigi, H., Nagaoka, T. 2012.** Vertical immobilization of viable Bacilliform Bacteria into polypyrrole films. *Anal. Sci.*, 28: 319–321. <https://doi.org/10.2116/analsci.28.319>
- Tuncagil, S., Kiralp, S., Varis, S., Toppare, L. 2008.** Immobilization of invertase on a conducting polymer of 1-(4-nitrophenyl)-2,5-di(2-thienyl)-1H-pyrrole. *React. Funct. Polym.*, 68: 710–717. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2007.11.010>
- Waifalkar, P.P., Parit, S.B., Chougale, A.D., Sahoo, S.C., Patil P.S., Patil P.B. 2016.** Immobilization of invertase on chitosan coated c-Fe₂O₃ magnetic nanoparticles to facilitate magnetic separation. *J. Colloid Interface Sci.*, 482: 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.07.082>



Asymptotically Lacunary \mathcal{J} -Equivalence of Sequences of Sets

Küme Dizilerinin Asimptotik Lacunary \mathcal{J} -Denkliği

Esra Gülle , Uğur Ulusu* 

Afyon Kocatepe University, Faculty of Science and Literature, Department of Mathematics, Afyonkarahisar, Turkey

Abstract

In this study, we introduce the notions of Wijsman asymptotically strongly p -lacunary invariant equivalence ($[W_{N_{\sigma\theta}}^L]_p$), Wijsman asymptotically lacunary \mathcal{J} -invariant equivalence ($W_{\mathcal{J}\sigma\theta}^L$) and Wijsman asymptotically lacunary \mathcal{J}^* -invariant equivalence ($W_{\mathcal{J}^*\sigma\theta}^L$) for sequences of sets. Also, the relationships among the notions of Wijsman asymptotically lacunary invariant equivalence, Wijsman asymptotically lacunary invariant statistical equivalence, $[W_{N_{\sigma\theta}}^L]_p$, $W_{\mathcal{J}\sigma\theta}^L$ and $W_{\mathcal{J}^*\sigma\theta}^L$ are investigated.

Keywords: Asymptotically equivalence, Lacunary sequence, \mathcal{J} -convergence, Invariant convergence, Sequences of sets, Wijsman convergence

Öz

Bu çalışmada, küme dizileri için Wijsman asimptotik kuvvetli p -lacunary invaryant denklik ($[W_{N_{\sigma\theta}}^L]_p$), Wijsman asimptotik lacunary \mathcal{J} -invaryant denklik ($W_{\mathcal{J}\sigma\theta}^L$) ve Wijsman asimptotik lacunary \mathcal{J}^* -invaryant denklik ($W_{\mathcal{J}^*\sigma\theta}^L$) kavramları tanımlandı. Ayrıca, Wijsman asimptotik lacunary invaryant denklik, Wijsman asimptotik lacunary invaryant istatistiksel denklik, $[W_{N_{\sigma\theta}}^L]_p$, $W_{\mathcal{J}\sigma\theta}^L$ ve $W_{\mathcal{J}^*\sigma\theta}^L$ kavramları arasındaki ilişkiler araştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Asimptotik denklik, Lacunary dizi, \mathcal{J} -yakınsaklık, İnvaryant yakınsaklık, Küme dizisi, Wijsman yakınsaklık

1. Introduction

The notion of statistical convergence was firstly introduced by Fast (1951) and this notion has been studied by Šalát (1980), Fridy (1985) and many others. Then Fridy and Orhan (1993), using the notion of lacunary sequence $\theta = \{k_r\}$, defined the notion of lacunary statistical convergent sequence.

Let σ be a mapping such that $\sigma: \mathbb{N}^+ \rightarrow \mathbb{N}^+$ (the set of positive integers). A continuous linear functional ψ on ℓ_∞ , the space of bounded sequences, is said to be an invariant mean or a σ -mean if it satisfies following conditions:

1. $\psi(x_n) \geq 0$, when the sequence (x_n) has $x_n \geq 0$ for all n ,
2. $\psi(e) = 1$, where $e = (1, 1, 1, \dots)$ and
3. $\psi(x_{\sigma(n)}) = \psi(x_n)$ for all $(x_n) \in \ell_\infty$.

The mappings σ are assumed to be one-to-one and such that $\sigma^m(n) \neq n$ for all $m, n \in \mathbb{N}^+$, where $\sigma^m(n)$ denotes the m th iterate of the mapping σ at n . Thus ψ extends the limit functional on c , the space of convergent sequences, in the sense that $\psi(x_n) = \lim x_n$ for all $(x_n) \in c$.


Many authors have studied on the notions of invariant mean and invariant convergent sequences (for examples, see Mursaleen 1979, Mursaleen and Edely 2009, Nuray et al. 2011, Raimi 1963, Savaş 1989, Schaefer 1972).


The notion of lacunary strong σ -convergent sequence was defined by Savaş (1990). Then, Savaş and Nuray (1993) introduced the notion of lacunary σ -statistically convergence. Recently, the notions of lacunary invariant summability and the space $[V_{\sigma\theta}]_q$ have been studied by Pancaroğlu and Nuray (2013).

The idea of \mathcal{J} -convergence which is a generalization of statistical convergence was introduced by Kostyrko et al. (2000).

A family of sets $\mathcal{J} \subseteq 2^{\mathbb{N}}$ is called an ideal if

*Corresponding author: ulusu@aku.edu.tr

Esra Gülle  orcid.org/0000-0001-5575-2937

Uğur Ulusu  orcid.org/0000-0001-7658-6114

- i) $\emptyset \in \mathcal{J}$, ii) $E, F \in \mathcal{J} \Rightarrow E \cup F \in \mathcal{J}$,
- iii) $E \in \mathcal{J} \wedge F \subseteq E \Rightarrow F \in \mathcal{J}$.

An ideal $\mathcal{J} \subseteq 2^{\mathbb{N}}$ is called non-trivial if $\mathbb{N} \notin \mathcal{J}$ and a non-trivial ideal $\mathcal{J} \subseteq 2^{\mathbb{N}}$ is called admissible if $\{n\} \in \mathcal{J}$ for each $n \in \mathbb{N}$ (the set of natural numbers).

All ideals in this study will be assumed to be admissible in $2^{\mathbb{N}}$ (the power set of \mathbb{N}).

A family of sets $\mathcal{F} \subseteq 2^{\mathbb{N}}$ is called a filter if

- i) $\emptyset \notin \mathcal{F}$, ii) $E, F \in \mathcal{F} \Rightarrow E \cap F \in \mathcal{F}$,
- iii) $E \in \mathcal{F} \wedge F \supseteq E \Rightarrow F \in \mathcal{F}$.

For any ideal $\mathcal{J} \subseteq 2^{\mathbb{N}}$, there is a filter $\mathcal{F}(\mathcal{J})$ corresponding with \mathcal{J} such that

$$\mathcal{F}(\mathcal{J}) = \{M \subset \mathbb{N} : (\exists E \in \mathcal{J})(M = \mathbb{N} \setminus E)\}.$$

A sequence (x_n) is said to be \mathcal{J} -convergent to L if for every $\varepsilon > 0$, the set

$$E_\varepsilon = \{k : |x_n - L| \geq \varepsilon\}$$

belongs to \mathcal{J} . It is denoted by $\mathcal{J} - \lim x_n = L$.

A sequence (x_n) is said to be \mathcal{J}^* -convergent to L if there exists a set $M = \{m_1 < m_2 < \dots\} \in \mathcal{F}(\mathcal{J})$ such that

$$\lim_{n \rightarrow \infty} x_{m_n} = L.$$

It is denoted by $\mathcal{J}^* - \lim x_n = L$.

An admissible ideal $\mathcal{J} \subseteq 2^{\mathbb{N}}$ is said to satisfy the property (AP) if for every countable family of mutually disjoint sets $\{E_1, E_2, \dots\}$ belonging to \mathcal{J} there exists a countable family of sets $\{F_1, F_2, \dots\}$ such that the symmetric difference $E_j \Delta F_j$ is a finite set for $j \in \mathbb{N}$ and $F = (U_{j=1}^\infty F_j) \in \mathcal{J}$.

By a lacunary sequence we mean an increasing integer sequence $\theta = \{k_r\}$ such that $k_0 = 0$ and $h_r = k_r - k_{r-1} \rightarrow \infty$ as $r \rightarrow \infty$. The intervals determined by θ is denoted by $I_r = (k_{r-1}, k_r]$.

Recently, the notions of $\sigma\theta$ -uniform density of a subset E of \mathbb{N} and corresponding $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ -convergence for real sequences were introduced by Ulusu and Nuray (2016) as follows:

Let $\theta = \{k_r\}$ be a lacunary sequence, $E \subseteq \mathbb{N}$ and

$$s_r = \min_n |E \cap \{\sigma^m(n) : m \in I_r\}| \text{ and } S_r = \max_n |E \cap \{\sigma^m(n) : m \in I_r\}|.$$

If the following limits exists

$$\underline{V}_\theta(E) = \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{S_r}{h_r} \text{ and } \overline{V}_\theta(E) = \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{s_r}{h_r},$$

then $\underline{V}_\theta(E)$ and $\overline{V}_\theta(E)$ are called a lower $\sigma\theta$ -uniform density and an upper $\sigma\theta$ -uniform density of the set E , respectively. If $\underline{V}_\theta(E) = \overline{V}_\theta(E)$, then $V_\theta(E) = \underline{V}_\theta(E) = \overline{V}_\theta(E)$ is called the $\sigma\theta$ -uniform density of E .

The class of all $E \subseteq \mathbb{N}$ with $V_\theta(E) = 0$ is denoted by $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$. Obviously $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ is admissible ideal in $2^{\mathbb{N}}$.

A sequence (x_n) is said to be lacunary \mathcal{J}_σ -convergent or $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ -convergent to L if for every $\varepsilon > 0$, the set

$$E_\varepsilon = \{k : |x_k - L| \geq \varepsilon\}$$

belongs to $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$, i.e., $V_\theta(E_\varepsilon) = 0$. It is denoted by $\mathcal{J}_{\sigma\theta} - \lim x_n = L$.

The notion of convergence for real sequences has been extended by many authors to notions of convergence for sequences of sets. One of these extensions considered in this study is the notion of Wijsman convergence (for examples, see Baronti and Papini 1986, Beer 1985, 1994, Kişi and Nuray 2013, Nuray and Rhoades 2012, Pancaroğlu and Nuray 2013, Pancaroğlu Akin et al. 2019, Sever et al. 2014, Ulusu and Nuray 2012, Ulusu and Dündar 2014, 2018, Wijsman 1964).

Let (X, ρ) be a metric space. For any point $x \in X$ and any non-empty subset A of X , the distance from x to A by

$$d(x, A) = \inf_{a \in A} \rho(x, a).$$

Throughout the study, (X, ρ) will be taken as a metric space and A, A_k, B_k will be taken as any non-empty closed subsets of X .

A sequence $\{A_k\}$ is said to be Wijsman convergent to A if for each $x \in X$,

$$\lim_{k \rightarrow \infty} d(x, A_k) = d(x, A).$$

A sequence $\{A_k\}$ is said to be Wijsman lacunary invariant convergent to A if for each $x \in X$,

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} d(x, A_{\sigma^k(m)}) = d(x, A),$$

uniformly in $m = 1, 2, \dots$.

Let $0 < p < \infty$. A sequence $\{A_k\}$ is said to be Wijsman strongly p -lacunary invariant convergent to A if for each $x \in X$,

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} |d(x, A_{\sigma^k(m)}) - d(x, A)|^p = 0,$$

uniformly in m .

A sequence $\{A_k\}$ is said to be Wijsman lacunary invariant statistical convergent to A if for every $\varepsilon > 0$ and each $x \in X$,

$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : |d(x, A_{\sigma^k(m)}) - d(x, A)| \geq \varepsilon\}| = 0$, uniformly in m .

Marouf (1993) presented definitions for asymptotically equivalent sequences and asymptotic regular matrices. Then, the notion of asymptotically equivalence has been developed by many others (for examples, see Hazarika 2015, Patterson and Savaş 2006, Savaş and Patterson 2006, Savaş 2013).

Two non-negative sequences (x_n) and (y_n) are said to be asymptotically equivalent if

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{x_n}{y_n} = 1.$$

It is denoted by $x_n \sim y_n$.

The notion of asymptotically equivalence for real sequences which was defined by Marouf (1993) has been firstly extended by Ulusu and Nuray (2013) to notion of asymptotically equivalence for sequences of sets. For more detail, see Pancaroğlu et al. (2013).

For any non-empty closed subsets $A_k, B_k \subseteq X$, where $d(x, A_k) > 0$ and $d(x, B_k) > 0$ for each $x \in X$, two sequences $\{A_k\}$ and $\{B_k\}$ are said to be Wijsman asymptotically equivalent if for each $x \in X$,

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{d(x, A_k)}{d(x, B_k)} = 1.$$

It is denoted by $A_k \sim B_k$.

As an example, let's consider the following sequences of circles in the (x, y) -plane:

$$A_k = \{(x, y) : x^2 + y^2 + 2kx = 0\} \text{ and } B_k = \{(x, y) : x^2 + y^2 - 2kx = 0\}.$$

Since

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{d(x, A_k)}{d(x, B_k)} = 1,$$

the sequences $\{A_k\}$ and $\{B_k\}$ are Wijsman asymptotically equivalent, i.e., $A_k \sim B_k$.

The term $d(x; A_k, B_k)$ is defined as follows:

$$d(x; A_k, B_k) = \begin{cases} \frac{d(x, A_k)}{d(x, B_k)}, & x \notin A_k \cup B_k \\ L, & x \in A_k \cup B_k. \end{cases}$$

Two sequences $\{A_k\}$ and $\{B_k\}$ are Wijsman asymptotically lacunary invariant equivalent of multiple L if for each $x \in X$,

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} d(x; A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) = L,$$

uniformly in m . It is denoted by $A_k \overset{WN_{\sigma\theta}^L}{\sim} B_k$.

Two sequences $\{A_k\}$ and $\{B_k\}$ are Wijsman asymptotically lacunary invariant statistical equivalent of multiple L if for every $\varepsilon > 0$ and each $x \in X$,

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r} |\{k \in I_r : |d(x; A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| \geq \varepsilon\}| = 0,$$

uniformly in m . It is denoted by $A_k \overset{WS_{\sigma\theta}^L}{\sim} B_k$.

From now on, for short, we use $d_x(A), d_x(A_k)$, and $d_x(A_k, B_k)$ instead of $d(x, A), d(x, A_k)$ and $d(x; A_k, B_k)$, respectively.

2. Results

In this section, we introduce the notions of Wijsman asymptotically strongly p -lacunary invariant equivalence ($[W_{N_{\sigma\theta}^L}]_p$), Wijsman asymptotically lacunary \mathcal{J} -invariant equivalence ($W_{\mathcal{J}\sigma\theta}^L$) and Wijsman asymptotically lacunary \mathcal{J}^* -invariant equivalence ($W_{\mathcal{J}^*\sigma\theta}^L$) for sequences of sets. Also, the relationships among the notions of Wijsman asymptotically lacunary invariant equivalence, Wijsman asymptotically lacunary invariant statistical equivalence, $[W_{N_{\sigma\theta}^L}]_p, W_{\mathcal{J}\sigma\theta}^L$ and $W_{\mathcal{J}^*\sigma\theta}^L$ are investigated.

Definition 2.1 Two sequences $\{A_k\}$ and $\{B_k\}$ are said to be Wijsman asymptotically lacunary \mathcal{J} -equivalent or Wijsman asymptotically $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ -equivalent of multiple L if for every $\varepsilon > 0$ and each $x \in X$, the set

$$E_{\varepsilon, x}^- := \{k : |d_x(A_k, B_k) - L| \geq \varepsilon\}$$

belongs to $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$, i.e., $V_{\theta}(E_{\varepsilon, x}^-) = 0$. In this case, we write $A_k \overset{W_{\mathcal{J}\sigma\theta}^L}{\sim} B_k$ and simply Wijsman asymptotically $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ -equivalent if $L = 1$.

The class of all Wijsman asymptotically $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ -equivalent sequences will be denoted by $W_{\mathcal{J}\sigma\theta}^L$.

Theorem 2.1 Let $d_x(A_k) = \mathcal{O}(d_x(B_k))$. If $A_k \overset{W_{\mathcal{J}^*\sigma\theta}^L}{\sim} B_k$, then $A_k \overset{WN_{\sigma\theta}^L}{\sim} B_k$.

Proof: Let $m \in \mathbb{N}$ be an arbitrary and $\varepsilon > 0$ is given. Now, we calculate

$$\mathcal{T}(\theta, m) := \left| \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L \right|.$$

For each $x \in X$, we have

$$\mathcal{T}(\theta, m) \leq \mathcal{T}_1(\theta, m) + \mathcal{T}_2(\theta, m),$$

where

$$\mathcal{T}_1(\theta, m) := \frac{1}{h_r} \sum_{\substack{k \in I_r \\ |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| \geq \varepsilon}} |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L|$$

and

$$\mathcal{T}_2(\theta, m) := \frac{1}{h_r} \sum_{\substack{k \in I_r \\ |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| < \varepsilon}} |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L|$$

For each $x \in X$ and every $m = 1, 2, \dots$, it is obvious that $\mathcal{T}_2(\theta, m) < \varepsilon$. Since $d_x(A_k) = \mathcal{O}(d_x(B_k))$, there exists a $K > 0$ such that

$$|d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| \leq K,$$

for each $x \in X (k \in I_r, m = 1, 2, \dots)$. So, this implies that

$$\begin{aligned} \mathcal{T}_1(\theta, m) &\leq \frac{K}{h_r} |\{k \in I_r; |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| \geq \varepsilon\}| \\ &\leq K \frac{\max_m |\{k \in I_r; |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| \geq \varepsilon\}|}{h_r} \\ &= K \frac{S_r}{h_r}. \end{aligned}$$

Then, due to our hypothesis, $A_k \stackrel{WN_{\sigma}^L}{\sim} B_k$.

Definition 2.2 Let $0 < p < \infty$. Two sequences $\{A_k\}$ and $\{B_k\}$ are said to be Wijsman asymptotically strongly p -lacunary invariant equivalent of multiple L if for each $x \in X$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L|^p = 0,$$

uniformly in m . In this case, we write $A_k \stackrel{|W_{\sigma}^L|^p}{\sim} B_k$ and simply Wijsman asymptotically strongly p -lacunary invariant equivalent if $L = 1$.

Theorem 2.2 If $A_k \stackrel{|W_{\sigma}^L|^p}{\sim} B_k$, then $A_k \stackrel{W_{\sigma}^L}{\sim} B_k$.

Proof. Let $A_k \stackrel{|W_{\sigma}^L|^p}{\sim} B_k$ and $\varepsilon > 0$ be given. For each $x \in X$, we can write

$$\begin{aligned} &\sum_{k \in I_r} |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L|^p \\ &\geq \sum_{\substack{k \in I_r \\ |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| \geq \varepsilon}} |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L|^p \\ &\geq \varepsilon^p |\{k \in I_r; |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| \geq \varepsilon\}| \\ &\geq \varepsilon^p \max_m |\{k \in I_r; |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| \geq \varepsilon\}| \end{aligned}$$

and so

$$\begin{aligned} &\frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L|^p \\ &\geq \varepsilon^p \frac{\max_m |\{k \in I_r; |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| \geq \varepsilon\}|}{h_r} \\ &= \varepsilon^p \frac{S_r}{h_r}, \end{aligned}$$

for all m . By our assumption, this implies that $\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{S_r}{h_r} = 0$ and consequently $A_k \stackrel{W_{\sigma}^L}{\sim} B_k$.

Theorem 2.3 Let $d_x(A_k) = \mathcal{O}(d_x(B_k))$. If $A_k \stackrel{W_{\sigma}^L}{\sim} B_k$, then $A_k \stackrel{|W_{\sigma}^L|^p}{\sim} B_k$.

Proof. Let $d_x(A_k) = \mathcal{O}(d_x(B_k))$ and $\varepsilon > 0$ is given. Also, we suppose that $A_k \stackrel{W_{\sigma}^L}{\sim} B_k$. By assumption, we have $V_\theta(E_{\varepsilon, x}) = 0$. Since $d_x(A_k) = \mathcal{O}(d_x(B_k))$, there exists a

$K > 0$ such that

$$|d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| \leq K,$$

for each $x \in X (k \in I_r, m = 1, 2, \dots)$. Then, for each $x \in X$ we get

$$\begin{aligned} &\frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L|^p \\ &= \frac{1}{h_r} \sum_{\substack{k \in I_r \\ |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| \geq \varepsilon}} |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L|^p \\ &\quad + \frac{1}{h_r} \sum_{\substack{k \in I_r \\ |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| < \varepsilon}} |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L|^p \\ &\leq K \frac{\max_m |\{k \in I_r; |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L| \geq \varepsilon\}|}{h_r} + \varepsilon^p \\ &\leq K \frac{S_r}{h_r} + \varepsilon^p, \end{aligned}$$

for all m . Hence, for each $x \in X$ we have

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{h_r} \sum_{k \in I_r} |d_x(A_{\sigma^k(m)}, B_{\sigma^k(m)}) - L|^p = 0.$$

This completes the proof.

Theorem 2.4 Let $d_x(A_k) = \mathcal{O}(d_x(B_k))$. Then, $A_k \stackrel{W_{\sigma}^L}{\sim} B_k$ if and only if $A_k \stackrel{|W_{\sigma}^L|^p}{\sim} B_k$.

Proof. This can be obtained from Theorem 2.2 and Theorem 2.3.

Now, we shall state a theorem that gives a relation between $W_{\mathcal{J}\sigma}^L$ and WS_{σ}^L .

Theorem 2.5 Two sequences $\{A_k\}$ and $\{B_k\}$ are Wijsman asymptotically $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ -equivalent of multiple L if and only if these sequences are Wijsman asymptotically lacunary invariant statistical equivalent of multiple L .

Definition 2.3 Two sequences $\{A_k\}$ and $\{B_k\}$ are Wijsman asymptotically lacunary \mathcal{J}_{σ}^* -equivalent or Wijsman asymptotically $\mathcal{J}_{\sigma\theta}^*$ -equivalent of multiple L if and only if there exists a set $M = \{m_1 < m_2 < \dots < m_k < \dots\} \in \mathcal{F}(\mathcal{J}_{\sigma\theta})$ such that for each $x \in X$,

$$\lim_{k \rightarrow \infty} d_x(A_{m_k}, B_{m_k}) = L.$$

In this case, we write $A_k \stackrel{W_{\mathcal{J}\sigma}^L}{\sim} B_k$ and simply Wijsman asymptotically $\mathcal{J}_{\sigma\theta}^*$ -equivalent if $L = 1$.

Theorem 2.6 If two sequences $\{A_k\}$ and $\{B_k\}$ are Wijsman asymptotically $\mathcal{J}_{\sigma\theta}^*$ -equivalent of multiple L , then these sequences are Wijsman asymptotically $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ -equivalent of multiple L .

Proof. Let $A_k \stackrel{W_{\mathcal{J}\sigma}^L}{\sim} B_k$. Then, there exists a set $H \in \mathcal{J}_{\sigma\theta}$ such that for $M = \mathbb{N} \setminus H = \{m_1 < m_2 < \dots < m_k < \dots\}$ and

each $x \in X$,

$$\lim_{k \rightarrow \infty} d_x(A_{m_k}, B_{m_k}) = L. \tag{1}$$

Given $\varepsilon > 0$. By (1), there exists $k_0 \in \mathbb{N}$ such that

$$|d_x(A_{m_k}, B_{m_k}) - L| < \varepsilon,$$

for each $k > k_0$. Hence, for every $\varepsilon > 0$ and each $x \in X$, it is obvious that

$$\begin{aligned} & \{k \in \mathbb{N} : |d_x(A_k, B_k) - L| \geq \varepsilon\} \\ & \subset H \cup \{m_1 < m_2 < \dots < m_{k_0}\}. \end{aligned} \tag{2}$$

Since $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ is admissible, the set on the right-hand side of (2) belongs to $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$. Therefore, $A_k \overset{W_{\mathcal{J}_{\sigma\theta}}}{\sim} B_k$.

The converse of Theorem 2.6 holds if $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ has property (AP).

Theorem 2.7 Let $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ has property (AP). If two sequences $\{A_k\}$ and $\{B_k\}$ are Wijsman asymptotically $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ -equivalent of multiple L , then these sequences are Wijsman asymptotically $\mathcal{J}_{\sigma\theta}^*$ -equivalent of multiple L .

Proof. Suppose that $\mathcal{J}_{\sigma\theta}$ satisfies condition (AP) and $A_k \overset{W_{\mathcal{J}_{\sigma\theta}}}{\sim} B_k$. Then, for every $\varepsilon > 0$ and each $x \in X$, we have

$$\{k : |d_x(A_k, B_k) - L| \geq \varepsilon\} \in \mathcal{J}_{\sigma\theta}.$$

Put

$$E_1 = \{k : |d_x(A_k, B_k) - L| \geq 1\}$$

and

$$E_n = \left\{k : \frac{1}{n} \leq |d_x(A_k, B_k) - L| < \frac{1}{n-1}\right\},$$

for $n \geq 2 (n \in \mathbb{N})$. Obviously, $E_i \cap E_j = \emptyset$ for each $x \in X$ and $i \neq j$. By condition (AP), there exists a sequence of $\{F_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ such that $E_j \Delta F_j$ are finite sets for $j \in \mathbb{N}$ and $F = (\cup_{j=1}^{\infty} F_j) \in \mathcal{J}_{\sigma\theta}$. It is enough to prove that for $V = \mathbb{N} \setminus F$ and each $x \in X$, we have

$$\lim_{\substack{k \rightarrow \infty \\ k \in V}} d_x(A_k, B_k) = L. \tag{3}$$

Let $\delta > 0$. Choose $n \in \mathbb{N}$ such that $\frac{1}{n+1} < \delta$. Hence, for each $x \in X$

$$\{k : |d_x(A_k, B_k) - L| \geq \delta\} \subset \bigcup_{j=1}^{n+1} E_j.$$

Since $E_j \Delta F_j (j = 1, 2, \dots, n+1)$ are finite sets, there exists $k_0 \in \mathbb{N}$ such that

$$\left(\bigcup_{j=1}^{n+1} F_j\right) \cap \{k : k > k_0\} = \left(\bigcup_{j=1}^{n+1} E_j\right) \cap \{k : k > k_0\}. \tag{4}$$

If $k > k_0$ and $k \notin F$, then $k \notin \cup_{j=1}^{n+1} F_j$ and by (4), $k \notin \cup_{j=1}^{n+1} E_j$. But then, for each $x \in X$ we get

$$|d_x(A_k, B_k) - L| < \frac{1}{n+1} < \delta$$

and so (3) holds. Consequently, we have $A_k \overset{W_{\mathcal{J}_{\sigma\theta}}}{\sim} B_k$.

3. Conclusion

In this study, we introduced some asymptotically equivalence notions in Wijsman sense for sequences of sets. Also, relationships among the new asymptotically equivalence notions were given. Furthermore, the relationships among some of the new asymptotically equivalence notions introduced by us and other notions previously introduced on the asymptotically equivalence of sequences of sets were investigated.

4. References

- Baronti, M., Papini, P. 1986.** Convergence of sequences of sets, In: Methods of Functional Analysis in Approximation Theory. Birkhäuser, Basel, pp. 133–155.
- Beer, G. 1985.** On convergence of closed sets in a metric space and distance functions. *Bull. Aust. Math. Soc.*, 31(3): 421–432.
- Beer, G. 1994.** Wijsman convergence: A survey. *Set-Valued Anal.*, 2(1-2): 77–94.
- Fast, H. 1951.** Sur la convergence statistique. *Colloq. Math.*, 2(3-4): 241–244.
- Fridy, JA. 1985.** On statistical convergence. *Analysis*, 5(4): 301–314.
- Fridy, JA., Orhan, C. 1993.** Lacunary statistical convergence. *Pacific J. Math.*, 160(1): 43–51.
- Hazarika, B. 2015.** On asymptotically ideal equivalent sequences. *Journal of the Egyptian Mathematical Society*, 23(1): 67–72.
- Kiş, Ö., Nuray, F. 2013.** New convergence definitions for sequences of sets. *Abstract and Applied Analysis*, 2013(Article ID 852796): 6 pages.
- Kostyrko, P., Wilczyński, W., Šalát, T. 2000.** \mathcal{J} -Convergence. *Real Anal. Exchange*, 26(2): 669–686.
- Marouf, M. 1993.** Asymptotic equivalence and summability. *Int. J. Math. Math. Sci.*, 16(4): 755–762.
- Mursaleen, M. 1979.** Invariant means and some matrix transformations. *Tamkang J. Math.*, 10(2): 183–188.
- Mursaleen M., Edely, OHH. 2009.** On the invariant mean and statistical convergence. *Appl. Math. Lett.*, 22(11): 1700–1704.
- Nuray, F., Gök, H., Ulusu, U. 2011.** \mathcal{J}_σ -convergence. *Math. Commun.*, 16: 531–538.
- Nuray, F., Rhoades, BE. 2012.** Statistical convergence of sequences of sets. *Fasc. Math.*, 49: 87–99.

- Pancaroglu, N., Nuray, F. 2013.** On invariant statistically convergence and lacunary invariant statistically convergence of sequences of sets. *Progress in Applied Mathematics*, 5(2): 23–29.
- Pancaroglu, N., Nuray, F. 2013.** Statistical lacunary invariant summability. *Theoretical Mathematics and Applications*, 3(2): 71–78.
- Pancaroglu, N., Nuray, F., Savaş, E. 2013.** On asymptotically lacunary invariant statistical equivalent set sequences. *AIP Conf. Proc.*, 1558(1): 780–781.
- Pancaroglu Akin, N., DüNDAR, E., ULUSU, U. 2019.** Wijsman lacunary \mathcal{J} -invariant convergence of sequences of sets. *Proc. Nat. Acad. Sci. India Sect. A.* (in press).
- Patterson, R.F., Savaş, E. 2006.** On asymptotically lacunary statistically equivalent sequences. *Thai J. Math.*, 4(2): 267–272.
- Raimi, R.A. 1963.** Invariant means and invariant matrix methods of summability. *Duke Math. J.*, 30(1): 81–94.
- Šalát, T. 1980.** On statistically convergent sequences of real numbers. *Math. Slovaca*, 30(2): 139–150.
- Savaş, E. 1989.** Some sequence spaces involving invariant means. *Indian J. Math.*, 31: 1–8.
- Savaş, E. 1990.** On lacunary strong σ -convergence. *Indian J. Pure Appl. Math.*, 21(4): 359–365.
- Savaş, E. 2013.** On \mathcal{J} -asymptotically lacunary statistical equivalent sequences. *Adv. Difference Equ.*, 2013(111): 7 pages.
- Savaş, E., Nuray, F. 1993.** On σ -statistically convergence and lacunary σ -statistically convergence. *Math. Slovaca*, 43(3): 309–315.
- Savaş, E., Patterson, RF. 2006.** σ -asymptotically lacunary statistical equivalent sequences. *Cent. Eur. J. Math.*, 4(4): 648–655.
- Schaefer, P. 1972.** Infinite matrices and invariant means. *Proc. Amer. Math. Soc.*, 36(1): 104–110.
- Sever, Y., Ulusu, U., DüNDAR, E. 2014.** On strongly \mathcal{J} and \mathcal{J}^* -lacunary convergence of sequences of sets. *AIP Conf. Proc.*, 1611(1): 357–362.
- Ulusu, U., DüNDAR, E. 2014.** \mathcal{J} -lacunary statistical convergence of sequences of sets. *Filomat*, 28(8): 1567–1574.
- Ulusu, U., DüNDAR, E. 2018.** Asymptotically \mathcal{J} -Cesàro equivalence of sequences of sets. *Universal Journal of Mathematics and Applications*, 1(2): 101-105.
- Ulusu, U., Nuray, F. 2012.** Lacunary statistical convergence of sequences of sets. *Progress in Applied Mathematics*, 4(2): 99–109.
- Ulusu, U., Nuray, F. 2013.** On asymptotically lacunary statistical equivalent set sequences. *Journal of Mathematics*, 2013(Article ID 310438): 5 pages.
- Ulusu, U., Nuray, F. 2016.** Lacunary \mathcal{J}_σ -convergence. *2nd International Conference on Analysis and Its Applications*, pp: 321, Kırşehir.
- Wijsman, RA. 1964.** Convergence of sequences of convex sets, cones and functions. *Bull. Amer. Math. Soc.*, 70(1): 186–188.



TiO₂ Katkılı Elmas-Benzeri Karbon Nanokompozit Filmin Elektrokimyasal Yöntemle Biriktirilmesi

Electrochemical Deposition of TiO₂ Doped Diamond-Like Carbon Nanocomposite Film

Necati Başman^{1,2,*}

¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

²Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, elektrokimyasal yöntemle TiO₂ katkılı elmas-benzeri karbon (EBK) nanokompozit film üretimi için yeni metot önerilmiştir. TiO₂ katkılı EBK nanokompozit film üretimi için titanyum metali önce hidrojen peroksit (H₂O₂) içerisinde çözüldü. Daha sonra bu çözelti ve metanol, hacimce 1:200 oranında karıştırılarak iki elektrotlu hücrede elektroliz edildi. Elde edilen film taramalı elektron mikroskobu (SEM), Raman spektroskopisi, X-ışınları fotoelektron spektroskopisi (XPS) ve X-ışınları kırınımı (XRD) ile karakterize edildi. SEM fotoğrafı, filmin homojen fakat gözenekli bir yüzeye sahip olduğunu göstermiştir. Raman spektroskopisi, TiO₂ katkısının sp³ karbon bağlarına neden olduğunu ortaya koymuştur. XPS analizi, karbonun sp³ bağlı olduğunu ve filmin TiO₂ katkılı olduğunu göstermiştir. XRD spektrumunda, hegzagonal karbon yapıya ait pikler gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, yüksek miktarda sp³ bağları içeren EBK nanokompozit filmin, elektrokimyasal yöntemle başarılı bir şekilde üretilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Elmas-benzeri karbon, Elektrokimyasal biriktirme, Titanyum dioksit

Abstract

In this study, a new route was proposed for electrochemical synthesizing of TiO₂ doped diamond-like carbon (DLC) nanocomposite film. To obtain TiO₂ doped DLC nanocomposite film, firstly, titanium metal was dissolved in hydrogen peroxide (H₂O₂). Then, the obtained solution and methanol were mixed with the volume ratio of 1:200 and electrolyzed in a two-electrode cell. The obtained film was characterized by scanning electron microscope (SEM), Raman spectroscopy, X-ray photoelectron spectroscopy and X-ray diffraction. SEM image showed homogeneous and porous film. Raman spectroscopy indicated that TiO₂ doping leads to sp³ hybridized carbon bonds. XPS analysis confirm TiO₂ doping and sp³ bonds. In the XRD spectrum, the observed peaks attributed to hexagonal carbon structure. The obtained results show that DLC nanocomposite film containing high amounts of sp³ bonds can be successfully produced by the electrochemical method.

Keywords: Diamond-like carbon, Electrochemical deposition, Titanium dioxide

1. Giriş

Elmas-benzeri karbon (EBK) filmler yapısında sp² ve sp³ bağlarını içeren yarı-kararlı amorf karbon (a:C) ya da yapısında hidrojen barındıran amorf karbon (a-C:H) ince film malzemelerdir. EBK filmler, yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, kızılötesi geçirgenlik, düşük sürtünme, kimyasal kararlılık, düşük ısı genleşme, yüksek ısıl iletkenlik ve yüksek elektriksel direnç gibi olağan üstü özellikler göstermelerinden dolayı oldukça fazla ilgi çekmişlerdir (Robertson 2002, Li vd. 2009, Wan vd. 2010). EBK film elde

etmek için kullanılan değişik biriktirme yöntemleri, yumuşak ve kaygan a:C-H filmlerinden, elmasa yakın özellikler gösteren tetrahedral amorf karbon (ta-C) filmlerine kadar pek çok değişik özellikte filmlerin üretilmesine neden olur (Hainsworth ve Uhure 2007).

EBK filmlerin değişik elementlerle katılanması, bu malzemelerin fiziksel, mekanik ve tribolojik özelliklerini değiştirmektedir (Yu ve Zhang, 2009). Bu sebeple literatürde bu alanda pek çok çalışma yapılmıştır. Şu ana kadar ametallik (flor, azot, bor, kükürt) ve metal (gümüş, alüminyum, tungsten, nikel, krom ve titanyum) pek çok element gerek buhar biriktirme gerekse elektrokimyasal biriktirme yöntemleri ile EBK filmlerin yapısına katılanmıştır (Li

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

vd. 2013, Xu vd. 2018, Liu vd. 2018). Metal katkılı EBK filmler, yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, daha düşük sürtünme katsayısı ve düşük iç stres göstermelerinden dolayı diğerlerine göre daha fazla dikkat çekmiştir (Jinfeng vd. 2012). Ancak pek çok çalışmada, EBK filme yeteri kadar metal katkılanmadığında, metal nano-küme ya da metal-karbid mikro-yapı oluşumu rapor edilmiştir. Bu nano-küme ya da metal-karbid mikro-yapılar karbon matrisinin sürekliliğini bozarak filmin sertliğinde düşüğe sebep olur. Dahası, yüksek metal konsantrasyonlarında, amorf metal-karbid fazı oluşarak filmin iç stresinin artmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu sebeple araştırmacılar yüksek sertlikte ve düşük iç stres içeren film üretmek için düşük konsantrasyon da metal katkılanmayı önermişlerdir (Jinfeng vd. 2012).

Katkılama atomunun kimyasal durumunun, oluşan filmin mikro-yapısı ve özellikleri üzerine önemli bir etkisi vardır (Xu vd. 2018). Titanyum, krom ve tungsten gibi aktif metaller, karbon ile reaksiyona girerek metal-karbid nanofazını oluştururlar. Bu durum karbon hibritleşmesinin sp³'ten sp²'ye dönüşmesine sebebiyet verir (Li vd. 2013, Jo vd. 2018). Diğer taraftan alüminyum ve bakır gibi kimyasal olarak kararlı metaller ise atomik olarak bulunurlar. Bu metaller filmde ki iç stresi azaltsa da, filmdeki sp³ bağ miktarını azalttığı için filmin sertliğini de azaltırlar (Xu vd. 2018).

EBK filmlerinin sahip olduğu özellikler, ince filmlerinin üretim yöntemi ve üretim parametrelerine bağlı olarak geniş bir yelpazede değişim göstermektedir. Elektrokimyasal biriktirme yöntemi, fiziksel buhar biriktirme (FBB) ve kimyasal buhar biriktirme (KBB) yöntemlerine göre oldukça ucuz ve kolay bir yöntemdir. Bu sebeple EBK film üretimi için elektrokimyasal metot oldukça ilgi görmüştür. Ancak elektrokimyasal yöntemle üretilen filmlerin içerisinde sp³ bağ oranı düşük olmaktadır. Bu da filmin düşük mekanik ve tribolojik özellikler göstermesi anlamına gelmektedir. Tetrahedral karbon (ta-C) olarak isimlendirilen ve yüksek sp³ içerikli EBK filmler FBB ve KBB yöntemleri ile üretilmektedir.

Bu çalışmada, elektrokimyasal yöntemle TiO₂ katkılı yüksek miktarda sp³ bağları içeren EBK film üretmek için yeni ve basit bir yöntem önerilmiştir. TiO₂'nin, EBK filme katkılanması için titanyum metali hidrojen peroksitte (H₂O₂) çözüldürülerek bir titanyum çözeltisi hazırlanmıştır. Oluşan bu çözelti, karbon kaynağı olarak kullanılan metanole belli bir oranda eklenmiş, oluşan karışım iki elektrotlu hücrede elektroliz edilmiştir. Üretilen filmin yüzey morfolojisi, bağ yapısı, element çözümü ve kristal yapısı sırasıyla

taramalı elektron mikroskobu (SEM), Raman spektroskopisi, X-ışınları fotoelektron spektroskopisi (XPS) ve X-ışınları kırınımı (XRD) ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemle yüksek miktarda sp³ bağları içeren EBK film üretilebileceğini göstermektedir.

2. Gereç ve Yöntem

77 mg % 99 saflıkta süngerimsi Titanyum metali, (Alfa Aesar) 150 ml % 50'lik H₂O₂'ye (Tekkim) eklenerek çözünmesi için 3 gün beklendi. Titanyum ile H₂O₂'nin etkileşimi sonucu (TiO₂)⁺ kasyonu olduğu düşünülmektedir (Mori vd. 1956). 1 hafta bekleyen çözeltiden 400 µL alınarak 80 mL destile metanole (CH₃OH) eklendi ve manyetik karıştırıcı ile elektrolizden önce 5 dakika karıştırıldı. Metanol ve titanyum çözeltisinden oluşan karışım, atmosferik basınçta ve oda sıcaklığında 150 V gerilimde 2 saat elektroliz edildi. Kullanılan elektrokimyasal biriktirme düzeneğinin şematik gösterimi başka bir çalışmada bulunabilir (Yan vd. 2004). Çalışmada, bir yüzü parlak bir yüzü mat bor katkılı p-Si (100) tek kristali katot ve parlatılmış grafit plaka anot olarak kullanılmıştır. Silisyum altlığın parlak yüzeyi anoda bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Anot ve katot yüzeyleri arasındaki mesafe yaklaşık 2 mm olarak ayarlanmıştır.

Elde edilen filmin SEM fotoğrafları Quanta FEG-250 model FEI marka SEM cihazı ile çekildi. Raman spektrumu, Renishaw marka Raman spektroskopi cihazı ile 785 nm Ar⁺ laser kaynağı kullanılarak 5 mW güçte alındı. Filmlerin XRD analizleri, Panalytical marka Empyrean model XRD cihazı ile CuKα monokromatik ışını kullanılarak, 10-90° aralığında yapıldı. Filmin kimyasal bileşenleri, AlKα monokromatik X-ışını (1486,74 eV, 200 W) kaynağına sahip Specs marka X-ışınları foto elektron spektroskopi cihazı ile araştırıldı.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. SEM Analizi

Filmin yüzey morfolojisini görmek için SEM fotoğrafları çekildi. Şekil 1 yüzeyin SEM fotoğrafını göstermektedir. Bu fotoğraftan, filmin homeojen ancak gözenekli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu yüzey, aynı şartlarda fakat Ti katkısı olmadan hazırlanan yüzeyden oldukça farklılık göstermektedir (Basman vd. 2015). Bu durum TiO₂ katkısının yüzey morfolojisini oldukça değiştirdiği göstermektedir.

3.2. Raman Analizi

Raman spektroskopisi EBK malzemelerin kimyasal yapısını

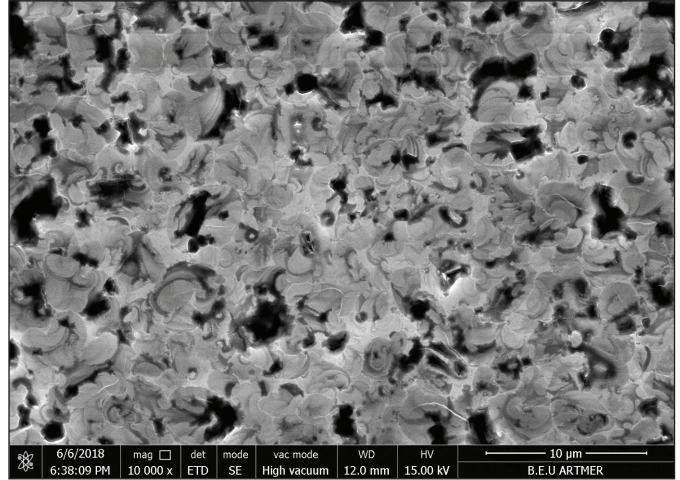
araştırmak için en çok kullanılan tekniklerden biridir. EBK filmler tipik olarak 1350 ve 1580 cm⁻¹'de görülen D ve G bandları ile karakterize edilirler (Robertson ve Ferrari 2000, Ferrari 2002). Bu bandların her ikisi sp² bağları ile ilişkilidir. G bandı zincir ve halkalardaki sp² atom çiftlerinin bağ gerilmelerinden kaynaklanır. D bandı ise halkaların radyal modlarından kaynaklanır. Diğer taraftan sp³ C-C titreşimlerine ait bir band 1360 cm⁻¹'den daha büyük bir değerde gözlenmez (Ferrari 2002). Şekil 2 filmin Raman spektrumunu göstermektedir. Bu spektrumda 302, 521, 621, 670 ve 960 cm⁻¹'de görülen bandlar silisyum altlıktan kaynaklanan bantlardır (Ismail vd. 2013). 1340 cm⁻¹'de gözlenen band ise sp² ile ilişkili olan D bandına değil, sp³ C-C karbon bağına atfedilmektedir (Kim vd. 2015). Sonraki bölümlerde tartışılacağı üzere, XPS ve XRD analizlerinden elde edilen bulgulara bunu destekler niteliktedir. Bu sonuç, katkılamanın filmin bağ yapısını önemli derecede değiştirdiğini ortaya koymaktadır. Elektrokimyasal yöntemle üretilen EBK ve EBK nanokompozit filmlerin Raman spektrumlarında D ve G bandları tipik olarak gözlenir ki, buda filmlerin önemli miktarda sp² bağı içerdiğine işaret eder. Bu çalışmada önerilen film hazırlama yöntemi ile yüksek miktarda sp³ bağlarına sahip EBK nanokompozit film elde edilmiştir. Bu sonuç mekanik ve tribolojik özelliklerin iyileştirilmesi için istenen bir durumdur.

3.3. XRD Analizi

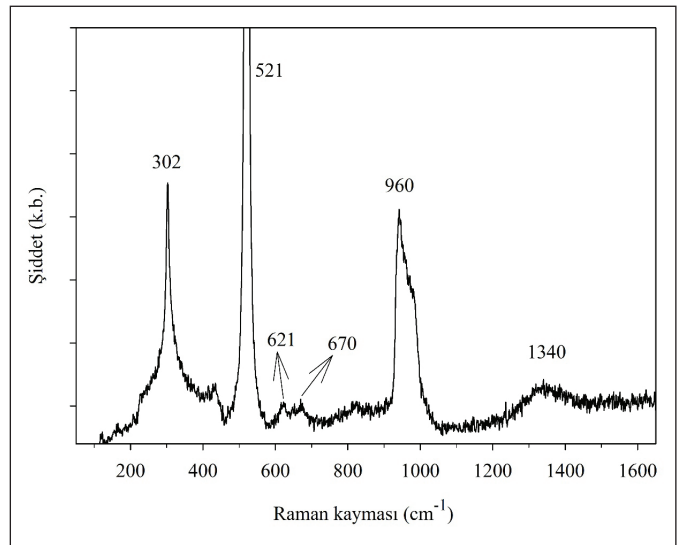
Elde edilen filmin kristal yapı analizi XRD ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4 filme ait XRD kırınım desenini göstermektedir. Bilindiği üzere silisyum tek kristal 69°'de keskin bir pik gösterir. Burada 69° civarında gözlenen geniş pikin Silisyum altlıktan geldiği ancak Silisyum altlığın film kaplı olması sebebiyle, bu pikin baskılandığı ve geniş olarak gözlemlendiği düşünülmektedir. Bu geniş pik üzerinde 69.33°'de bir pik görünmektedir. Bu pik karbon ile eşleştirilmiştir (JCPDS No: 98-018-1083). Ayrıca 75.6°'de bir pik daha gözlenmiştir. Bu pikte heksagonal sp³ karbona karşılık gelmektedir (JCPDS No: 96-154-1405). XRD'de sp³ karbona karşılık gelen bu pik, Raman spektrumunda gözlenen karbon pikinin sp³ karbona ait olduğunu desteklemektedir.

3.4. XPS Analizi

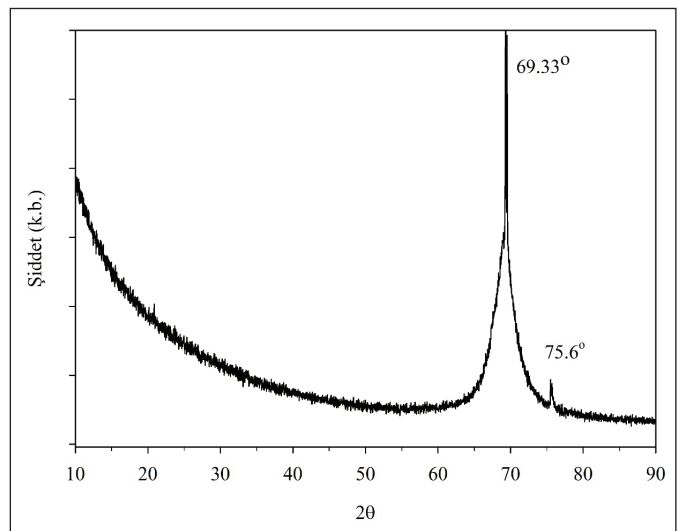
Elde edilen filmin kimyasal bileşenleri XPS ile analiz edildi. Yapılan analizde filmin başlıca bileşenlerinin oksijen, karbon ve titanyum olduğu anlaşılmıştır. Bu elementlerin yüzde oranları sırasıyla, 87.31, 11.76 ve 0.93 olarak bulunmuştur. Şekil 4A, B ve C filme ait yüksek çözünürlüklü Ti 2p, C



Şekil 1. EBK nanokompozit filmin SEM fotoğrafı.



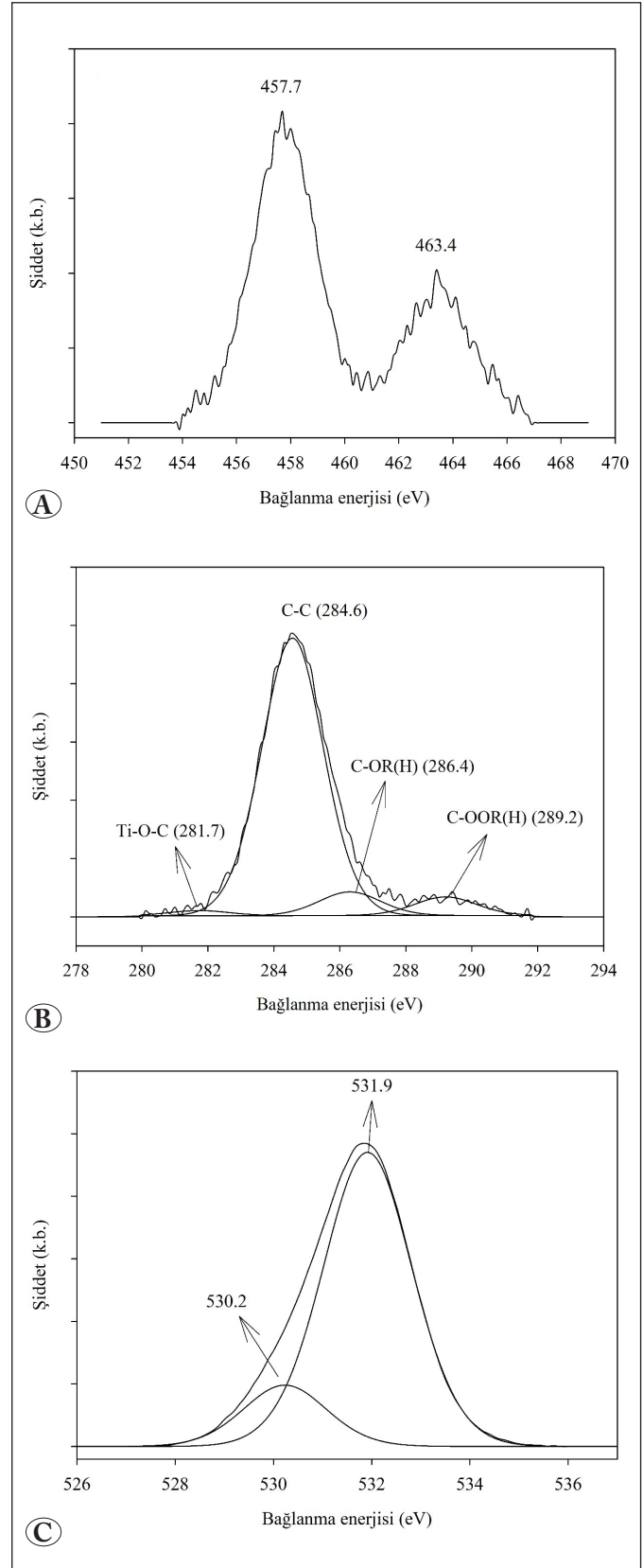
Şekil 2. EBK nanokompozit filmin Raman spektrumu.



Şekil 3. EBK nanokompozit XRD spektrumu.

1s ve O 1s spektrumlarını göstermektedir. C 1s ve O 1s spektrumları filtreleme işlemine tabi tutulmuş elde edilen pikler yine Şekil 4b ve c'de gösterilmiştir. Şekil 4a'da, 457.7 ve 463.4 eV'ta konumlanan pikler sırasıyla titanyum dioksitteki Ti 2p_{1/2} and Ti 2p_{3/2}'ye karşılık gelmektedir. İki pik arasındaki 5.7 eV'luk fark Ti⁴⁺ yükseltgenme durumuna karşılık gelmektedir (Bharti vd. 2016, Chen vd. 2017, Nezar vd. 2017). Bu pikler simetrik olduğundan Ti elementinin kimyasal durumunun yüzeyde sadece Ti⁴⁺ olduğu söylenebilir (Peng vd. 2016, Ennaceri vd. 2017). Ti-C'ye karşılık gelen ve 455.3 eV civarında gözlenen karakteristik pik gözlenmediğinden, TiC fazının oluşmadığı anlaşılmaktadır (Lin vd. 2013). Şekil 4A'daki piklerin konumları yaklaşık olarak 0.8 eV kadar daha düşük bir bağlanma enerjisi değerine kaymıştır. Standart bağlanma enerjisinden daha düşük bağlanma enerjisi değerinde olan bu kayma, karbon ve oksijen atomları tarafından çevrelenen titanyumun daha düşük yükseltgenme durumuna işaret eder. Karbon katkılı oksijen boşlukları ve/veya Ti³⁺ kusurlarının oluşumuna sebep olur ki bu da Ti 2p pikinde daha düşük bağlanma enerjisine neden olur (Lin vd. 2013). Bu sebeple daha küçük değerlere kayma, TiO₂ kristal örgüsüne karbon katkılanmanın gerçekleşip gerçekleşmediğinin tespiti içinde kullanılır. 457.7 eV'taki büyük pik TiO₂'deki Ti-O bağına atfedilir. Ti-C bağının da görünmemesi, titanyumun karbondan ziyade oksijene bağlandığını söylemektedir. Bu yüzden bağlanma enerjisinde (BE) ki kayma karbon atomlarının TiO₂ örgüsüne katkılanarak Ti-O-C bağı oluşturduğunu ve karbon ile titanyum arasında güçlü bir etkileşim olduğunu işaret etmektedir (Lin vd. 2013, Bharti vd. 2016, Wu vd. 2013).

Şekil 4B, yüksek çözünürlüklü C 1s spektrumu göstermektedir. Filtreleme işlemi sonucu 281.7, 284.6, 286.4 ve 289.2 eV'ta görülen 4 pik elde edilmiştir. Bu pikler çeşitli karbon türlerine atfedilir. Buna göre 281.7 eV'taki pik, TiO₂ örgüsünde oksijenin yerini alan O-Ti-C bağı oluşturan karbonda karşılık gelmektedir (Huang vd. 2008, He vd. 2013, Sullivan vd. 2014). Yani karbon atomları TiO₂ örgüsünde oksijenin yerine alarak O-Ti-C bağı yapacak şekilde katkılanmıştır. 284.5 eV'taki pik, C-C bağına, 286.4 ve 289.2'deki piklerde C-OR(H) ve C-OOR(H) bağlarına atfedilir (Park vd. 2009, Başman vd, 2018, Yan vd. 2004, Yu ve Zhang 2009, Ma vd. 2017). Şekil 4C, yüksek çözünürlüklü O 1s spektrumunu göstermektedir. Bu spektrum filtreleme işlemine tabi tutulmuş ve 530.2 eV ile 531.9 eV'ta iki pik elde edilmiştir. Bu pikler sırasıyla TiO₂'deki Ti-O bandına ve hidroksil gruplarına (OH grupları) karşılık gelmektedir (Ennaceri vd. 2017, Nezar vd.



Şekil 4. EBK nanokompozit filmin detaylı XPS spektrumları: A) Ti2p, B) C1s ve C) O1s.

2017, Bharti vd. 2016). Burada pik şiddetlerinden hidroksil miktarının daha fazla olduğu gözlenmektedir. Zaten XPS spektrumunda, gerek karbon miktarı gerekse oksijen miktarı titanyum miktarından fazla bulunduğundan bu sonuç beklenen bir durumdur. O 1s spektrumundaki Ti-O piki ile C1s spektrumundaki Ti-C pikleri karşılaştırıldığında, Ti-C pik şiddetinin çok düşük oluşu, Ti-C miktarının çok az olduğunu ve dolayısıyla Ti katkısının çoğunlukla TiO₂ şeklinde olduğunu göstermektedir. Yani bu çalışmada elde edilen film, TiO₂ katkılı bir EBK nanokompozit filmidir. Literatürde, Ti katkılı EBK film çalışmaları mevcuttur, ancak bilgilerimize göre, TiO₂ katkılı EBK film üretimi mevcut değildir.

4. Sonuç

EBK filmler sahip oldukları üstün özelliklerden dolayı literatürde en çok çalışılan kaplama malzemeleridir. Bu filmler elektrokimyasal yöntem, fiziksel buhar biriktirme ve kimyasal buhar biriktirme metotları ile üretilebilmektedir. Bu metotlar içerisinde elektrokimyasal yöntem, basit ve ucuz olması sebebiyle ön plana çıkmaktadır. Ancak elektrokimyasal yöntemle üretilen filmlerin içerisinde sp³ bağ oranı düşüktür. Tetrahedral karbon (ta-C) olarak isimlendirilen ve yüksek sp³ içerikli EBK filmler elektrokimyasal yöntemle üretilmemektedir. Bu çalışmada, hazırlanan yeni bir çözelti ile yüksek miktarda sp³ içerikli TiO₂ katkılı EBK film üretilmiştir. Oluşan filmde, sp² bağlarını arttıran Ti-C fazının oluşmamasının sebebi, titanyumun H₂O₂ ile reaksiyona sokulması ve (TiO₂)⁺ bileşiği oluştuktan sonra elektroliz edilmesidir. Bilgilerimize göre yüksek miktarda sp³ içeren EBK filmler elektrokimyasal yöntemle ilk kez bu çalışmada üretilmiştir. Çalışmamız bu yönüyle literatüre önemli katkı sağlamaktadır.

5. Kaynaklar

Basman, N., Aslan, N., Uzun, O., Cankaya, G., Kolemen, U. 2015. Electrical characterization of metal/diamond-like carbon/inorganic semiconductor MIS Schottky barrier diodes. *Microelectron Eng.*, 140:18-22.

Basman, N., Uzun, R., Gocer, E., Bacaksiz, E. 2018. Electrodeposition of Si-DLC nanocomposite film and its electronic application. *Microsyst. Technol.*, 24:2287-2294.

Bharti, B., Kumar, S., Lee, H.N., Kumar, R. 2016. Formation of oxygen vacancies and Ti³⁺ state in TiO₂ thin film and enhanced optical properties by air plasma treatment. *Sci. Rep.* 6:32355.

Chen, X., Kuo, D. H., Lu, D. 2017. Visible light response and superior dispersed S-doped TiO₂ nanoparticles synthesized via ionic liquid. *Adv. Powder Technol.*, 28: 1213-1220.

Ferrari, A.C. 2002. Determination of bonding in diamond-like carbon by Raman spectroscopy. *Diamond Relat. Mater.*, 11: 1053-1061.

Ferrari, A.C., Robertson, J. 2000. Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon. *Phys. Rev. B.* 61:14095-14107.

Hainsworth, S.V., Uhre N.J. 2007. Diamond like carbon coatings for tribology: production techniques, characterisation methods and applications. *Int. Mater. Rev.*, 52:153-174.

He, Z., Que, W., Chen, J., He, Y., Wang G. 2013 . Surface chemical analysis on the carbon-doped mesoporous TiO₂ photocatalysts after post-thermal treatment: XPS and FTIR characterization. *J. Phys. Chem. Solids.*, 74 : 924-928.

Houda, E., Mourad, B., Abdelhafed, T., Asmae, K., Rodrigo S. A., Ahmed E., Abdallah E., Abdelilah B. 2017. Thickness effect on the optical properties of TiO₂-anatase thin films prepared by ultrasonic spray pyrolysis: Experimental and ab initio study. *Int. J. Hydrogen Energy*, 42:19467-19480.

Huang, Y., Ho, W., Lee, S., Zhang, L., Li, G., Jimmy C. Yu. 2008. Effect of Carbon Doping on the Mesoporous Structure of Nanocrystalline Titanium Dioxide and Its Solar-Light-Driven Photocatalytic Degradation of NO_x. *Langmuir.* ,24: 3510-3516.

Ismail, A., Abdullah, M.J. 2013. The structural and optical properties of ZnO thin films prepared at different RF sputtering power. *J. King Saud Univ. Sci.*, 5:209-215.

Jinfeng, C., Li Q., Bin Z., Xiao L., Tao Y., Junyan Z. 2012. Mechanical and tribological properties of Ti-DLC films with different Ti content by magnetron sputtering technique. *Appl. Surf. Sci.*, 258: 5025-5030.

Jo, Y.J., Zhang, T. F., Sona, M. J., Kim, K. H. 2018. Synthesis and electrochemical properties of Ti-doped DLC films by a hybrid PVD/PECVD process. *Appl. Surf. Sci.* , 433: 1184-1191.

Kwang, J. K., Min H. K., Young, W.K. 2015. Highly Conductive p-Type Zinc blende SiC Thin Films Fabricated on Silicon Substrates by Magnetron Sputtering. *J. Am. Ceram. Soc.*, 98: 3663-3665.

Li, Q., Bin Z., Yan Z., Junyan Z. 2013. Improving the internal stress and wear resistance of DLC film by low content Ti doping. *Solid State Sci.*, 20: 17-22.

Li, R.S., Liu, B., Zhou, M., Zhang, Z.X., Wang, T., Lu, B.A., Xie, E.Q. Effect of deposition voltage on the field emission properties of electrodeposited diamond-like carbon films. *Appl. Surf. Sci.*, 255: 4754-4757.

- Lin, YT., Weng, CH., Lin, YH., Shiesh, CC., Chen, FY. 2013.** Effect of C content and calcination temperature on the photocatalytic activity of C-doped TiO₂ catalyst. *Sep. Purif. Technol.*, 116:114-123.
- Liu, X., Lu, P., Wang, H., Ren, Y., Tan, X., Sun, S., Jia, H. 2018.** Morphology and structure of Ti-doped diamond films prepared by microwave plasma chemical vapor deposition. *Appl. Surf. Sci.*, 442: 529-536.
- Ma, Y., Han, L., Ma, H., Wang, J., Liu, J., Cheng, L., Yang, J., Zhang, Q. 2017.** Improving the visible-light photocatalytic activity of interstitial carbon-doped TiO₂ with electron-withdrawing bidentate carboxylate ligands. *Catal. Commun.*, 95: 1-5.
- Mori, M., Shibata, M, Kyuno, E., Ito, S. 1956.** Reaction of Hydrogen Peroxide with Titanium (IV) at Different pH Values. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 29:904-907
- Nezar, S., Saoula, N., Sali, S., Faiz, M., Mekki, M., Laoufi, NA., Tabet, N. 2017.** Properties of TiO₂ thin films deposited by rf reactive magnetron sputtering on biased substrates. *Appl. Surf. Sci.*, 395: 172-179.
- Park, Y., Kim, W., Park, H., Tachikawa, T., Majima, T., Choi, W. 2009.** Carbon-doped TiO₂ photocatalyst synthesized without using an external carbon precursor and the visible light activity. *Appl. Catal., B*, 91: 355-361.
- Peng, S., Yang, Y., Li, G., Jiang, J., Jin, K., Yao, TT., Zhang, K., Cao, X., Wang, Y., Xu, G. 2016.** Effect of N₂ flow rate on the properties of N doped TiO₂ films deposited by DC coupled RF magnetron sputtering. *J. Alloys Compd.*, 678: 355-359.
- Robertson, J. 2002.** Diamond-like carbon. *Mater. Sci. Eng.*, 37: 129-281.
- Sullivan, JA., Neville, EM., N., Rory H., Thampi, KR., Macelroy JMD. 2014.** Routes to visible light active C-doped TiO₂ photocatalysts using carbon atoms from the Ti precursors. *J. Photochem. Photobiol., A*, 289:60-65.
- Wan, S., Wang, L., Xue, Q. 2010.** Electrochemical deposition of sulfur doped DLC nanocomposite film at atmospheric pressure. *Electrochem. Commun.*, 12: 61-65 .
- Wu, X., Yin, S., Dong, Q., Guo, C., Li, H., Kimura, T., Sato, T. 2013.** Synthesis of high visible light active carbon doped TiO₂ photocatalyst by a facile calcination assisted solvothermal method. *Appl. Catal., B*, 142-143: 450-457.
- Xu, W., Zhou, K., Lin, S., Dai, M., Shi, Q., Wei, C. 2018.** Structural properties of hydrogenated Al-doped diamond-like carbon films fabricated by a hybrid plasma system. *Diamond Relat. Mater.*, 87: 177-185.
- Yan, X., Xu, T., Chen, G., Yang, S., Liu H. 2004.** Study of structure, tribological properties and growth mechanism of DLC and nitrogen-doped DLC films deposited by electrochemical technique. *Appl. Surf. Sci.*, 236: 328-335.
- Yan, XB., Xu, T., Chen, G., Liu, HW., Yang, SR. 2004.** Characterization of hydrogenated diamond-like carbon films electrochemically deposited on a silicon substrate. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 37: 2416-2424.
- Yu, Y., Zhang J., 2009.** Electrodeposition and characterization of Pd nanoparticles doped amorphous hydrogenated carbon films. *Solid State Sci.*, 11: 1929-1932.



2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Uyarınca Bir İnceleme Alanının Zemin Etüdü Açısından İncelenmesi

Ground Investigation Study on a Sample Field According to Turkish Earthquake Code 2018

İsmail Emrah Kılıç¹, Zehra Nil Taylan Kutlu¹, Ozan Emir Özcan²

¹Maltepe Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

²Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Öz

Bu çalışma 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin etüdü ve sınıflandırması açısından örnek bir alan üzerinde uygulamalı kıyaslanması için yapılmış ilk çalışmalardan biri olması açısından önem arz etmektedir.

İnceleme alanı olarak İstanbul ili, Maltepe ilçesi, Altıntepe mahallesi seçilmiştir. 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye bina deprem yönetmeliği 2018 (TBDY)'e göre zemin sınıflandırılması yapılmış, şişme ve sıvılaşma problemleri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle zemin sınıflandırması açısından Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 (TDY) ve TBDY 2018 yönetmeliklerinin mukayesesi yapılmıştır. Sahadan alınan zemin etüt verileri doğrultusunda TDY 2007'de bulunmayan şişme ve sıvılaşma analizleri, 2018 Türkiye bina deprem yönetmeliğinde yayınlanan metoda uygun olarak yapılmıştır. Şişme analizlerinde birkaç lokasyonda yüksek şişme potansiyeline rastlanılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda inceleme alanı KB-GD doğrultusunda dere kenarı ve sahil bölgesinde zemin sıvılaşması riski tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında inceleme alanı için iki ayrı yönetmelikten elde edilen sonuçlar mukayese edildiği zaman olası zemin problemlerinin risklerini (sıvılaşma, şişme, şev stabilitesi) belirleme, bu riskleri zemin sınıflandırmasına yansıtma ve gerekli önlemlerin alınmasını sağlama açısından TDBY 2018 yönetmeliği ile daha gerçekçi ve detaylı analiz ve yöntemlerin yürürlüğe girdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007, Zemin sıvılaşması, Zemin sınıflandırması, Zemin şişmesi

Abstract

The scope of the presented paper can be considered as a case study to be set as an example for the application and comparison of two recent Turkish Earthquake Codes 2007 and 2018 in terms of soil investigation (site characterization) and soil classification performed on a particular test field.

The investigation site subject to the particular study is located in Altıntepe neighborhood, in Maltepe, Istanbul. The soil classification and evaluation of swelling and liquefaction problems were performed at the site based on the TBEC-2018 which is valid since 01.01.2019. Within the paper, the TBEC-2007 and TBEC-2018 were first compared for their soil classification. Since the swelling and liquefaction potential analysis were not been addressed in TBEC-2007, the characteristic swelling and liquefaction analysis for the site were performed following the specific methodology given in TBEC-2018 using the data obtained from site investigation. The analysis results showed considerably high swelling potential at several locations and also showed liquefaction risk at the riparian areas and the shoreline towards the NW-SE direction of the investigation site.

As per the emphasis has been given to examination of convenience and comparison of earthquake codes to analyze the risks of potential soil problems (as liquefaction, swelling and slope stability), and to take notice of these risks in site specific soil classification by taking necessary measures, the TBEC-2018 is considered to be more comprehensive with realistic and detailed analysis and methods.

Keywords: Turkish Earthquake Code 2018, Turkish Earthquake Code 2007, Soil Liquefaction, Soil Classification, Soil swell

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: emrahkilig@maltepe.edu.tr

İsmail Emrah Kılıç orcid.org/0000-0002-6514-2224

Zehra Nil Taylan Kutlu orcid.org/0000-0003-4813-588X

Ozan Emir Özcan orcid.org/0000-0001-5420-7128

1. Giriş

Tüm dünyada olduğu gibi depremler, ülkemizde çok ciddi can ve mal kayıplarına yol açmıştır. Depremi ne zaman olacağını ve kaç şiddetinde olacağını bilebilmek günümüz şartlarında ne yazık ki mümkün değildir. Depremlerin getirdiği hasarların, can ve mal kayıplarının deprem mühendisleri tarafından incelendiğinde yerel zemin koşullarını doğru tespit edilmesinin de çok önemli bir rolü olduğu saptanmıştır. Depremi getirdiği yıkıcı etkileri önlemek ancak yerel zemin koşullarının doğru saptanması, gerekli durumlarda mevcut zeminin yapı yapmaya uygun hale getirilmesi ve bu zeminler üzerine dayanıklı yapılar yapılması ile mümkündür.

Ülkemizdeki deprem yönetmeliği 1940 yılından günümüze kadar 9 kez güncellenmeye uğramıştır (Alyamaç ve Erdoğan, 2005). 1975 ve 1998 yılında yayınlanan afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmeliklerinde dönemin şartlarına bağlı olarak bu problemlerin hiçbirinden söz edilmemiş fakat 1975 yılında yayınlanan yönetmelikte ilk kez tasarım elastik spektrumu yer almış ve zemin etkisi zemin hâkim titreşim periyodunun bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Spektral analiz yöntemi Deprem mühendisliğinde zaman ve tanım aralığı temel alınca uzun hesaplar gerektirmesi nedeniyle günümüzde halen lineer analizde kullanılan yöntemdir. 2018 yılında yayınlanan Türkiye deprem yönetmeliğinde elastik tasarım spektrumunun elde edilebilmesi için sismik tehlike analizleri kullanılmıştır ve 2007 yönetmeliğine göre daha gerçekçi spektrumlar elde edilmiştir (Keskin ve Bozdoğan, 2018). Bu nedenle depremlerin üst yapılar üzerinde zararlarını, can ve mal kayıplarını en aza indirmek için zemin koşullarını belirleyerek zemin sınıflarını tanımlamak için ülkemizde ve dünyada tasarım elastik spektrumları kullanılarak deprem yönetmelikleri yayınlanmıştır (Halaç, 2016).

Bu çalışma kapsamında nüfus ve deprem risk faktörleri gözetilerek bir inceleme alanı seçilmiştir. Bu inceleme alanına ait olarak toplanan zemin etüdü raporlarından elde edilen jeolojik, jeofizik ve jeoteknik verilerden faydalanılmış ve zeminde yaşanması, olası olan sıvılaşma, şişme problemlerini ve zemin sınıfı tayinlerini 2007 ve 2018 yılında yayınlanan Türkiye bina deprem yönetmelikleri üzerinde mukayeseli olarak değerlendirilmiştir. Deprem yönetmelikleri üzerinde olan farklılıklar ve yeni eklenen zemin sınıfları üzerinde kıyaslamalar yapılmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

Zemin etüdü, yapı zemin ilişkisini irdeleyerek yapılacak olan

mühendislik yapısının güvenli bir şekilde yapılabilmesi için zeminin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalardır (Karakuş, 2009). Zemin etüdünün amacı yapı inşaatı başlamadan önce inceleme alanı için gerekli parametreleri vermektir. Söz konusu bu parametreler zemin veya kaya biriminin durumu, kayanın kırıklı çatlaklı olup olmadığı, zeminin ihtiva ettiği su içeriği, kıvam durumları, kohezyonu, yer altı su durumu, yapı temelin için taşıma gücü, oturma sıvılaşma ve şişme durumları, şev analizleri olarak özetlenebilir (Yaldız, 2013).

2.1. Zemin Sıvılaşması

Depremler sırasında oluşan sismik tehlikelerin en önemlilerinden birisi zemin sıvılaşmasıdır. Zemin sıvılaşması sonucu yapılarda çok büyük hasarlar meydana gelmektedir. Deprem etkisiyle meydana gelen titreşimler ile zemindeki boşluk suyu basıncında artış meydana gelmekte ve zemin suya doymun gevşek granüller yapıdaysa bu durumda zeminde deformasyonlar oluşmaktadır. Sıvılaşma sığ temeller üzerinde inşa edilen yapılarda batma, yan dönme, çökme gibi hareketler meydana gelirken, yer altındaki yapıların yüzeye çıkması veya heyelan tarzı afetlerin yaşanmasına neden olmaktadır (Taylan vd., 2007). Kumlardaki sıvılaşma probleminin hassasiyetini hesaplamak için ilk olarak Seed ve Idriss, 1971 yılında hesaplama yöntemleri geliştirmiştir. Bu hesaplama yöntemleri günümüze kadar sürekli güncellenerek devam etmiştir. Kumların sıvılaşma hassasiyeti tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir yer bulmuş ve 2018 yılında yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)'nde yerini almıştır. Bu yöntemde zeminin tekrarlı kayma direnç oranı (KDO) depremden kaynaklanan tekrarlı kayma gerilme oranı (KGO) ile kıyaslanmaktadır.

$$KGO = 0.65 \times 0.4S_{DS} \times \sigma_{vo} \times r_d \quad (1)$$

Burada;

σ_{vo} = Toplam düşey gerilme

r_d = Gerilme azaltma katsayısı

$r_d = 1.0 - 0.00765z$ ($z \leq 9.15$ metre için) (z : derinlik)

$r_d = 1.174 - 0.0267z$ ($9.15m \leq z \leq 23$ metre için) (z : derinlik) (2)

Burada ki PGA değeri en büyük yatay yer ivmesi değeri olup koordinatlarla inceleme sahasındaki beklenen değeri sismik tehlike haritası değerlerine göre belirler. Bu haritaya Acil ve afet yönetimi başkanlığı (AFAD) kurumuna ait internet sayfası üzerinden ulaşılabilir.

Zeminlerin tekrarlı direnç oranının (KDO) bulunulması için araziden örselenmemiş numuneler alarak, bu numuneler üzerinde tekrarlı üç eksenli, tekrarlı tek eksenli ve tekrarlı burulma deneyleri yapılabilir. Fakat bu deneyleri yapmak için araziden örselenmemiş numune alabilmek gereklidir bu da hem zaman hem de maliyet açısından zordur. Tekrarlı direnç oranının (KDO) bulunabilmesi için standart penetrasyon deneyine dayalı sıvılaşma oranının kullanımı daha çok tercih edilen bir durumdur. Sondaj ile elde edilen standart penetrasyon değeri (SPT) arazide ölçülen darbe sayısı (SPT-N), örtü basıncı, tij boyu, sondaj kuyusu çapı, yer altı suyu, sondaj tüpü gibi birçok değere bağlıdır. Bu nedenle SPT'ye bağlı sıvılaşma analizi yaparken bu değerlerin düzeltilmesi gerekmektedir.

İnce dane oranı (FC) %5'ten az olan temiz kumlar ($FC \leq 5$) için $M_w = 7.5$ büyüklüğündeki depremler için sıvılaşmanın gerçekleştiği bölgeleri gösteren ve ayıran eğri, kum eğrisi olarak tanımlamakta ve tekrarlı direnç oranını (KDO) Eşitlik (3)'de gösterildiği şekilde tanımlanmaktadır;

$$KDO = (KDO_{7.5}) \times (C_M) \times (\sigma'_{vo}) \quad (3)$$

$$KDO_{7.5} = \frac{1}{(34 - (N_1)_{60f})} + \frac{(N_1)_{60f}}{135} + \frac{50}{(10 \times (N_1)_{60f} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (4)$$

$$C_M = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \quad (5)$$

Zemin içerisindeki ince dane oranının artması zeminin tekrarlı kayma direncinin artmasına neden olmaktadır. 100 kPa örtü basıncı ve $M_w = 7.5$ büyüklüğündeki deprem için, ince dane oranının %5 olması durumunda Standart Penetrasyon deneyi düzeltmeleri yapılarak temiz eşdeğer kum eğrisi değerlerine dönüştürülür. Burada α ve β değerleri aşağıdaki eşitliklerle açıklanmıştır.

$$(N_1)_{60f} = \alpha + \beta \times (N_1)_{60} \quad (6)$$

$$\alpha = \begin{cases} 0 & ; FC \leq \%5 \\ e^{[1.76 - (190/FC^2)]} & ; \%5 < FC \leq \%35 \\ 5 & ; FC \geq \%35 \end{cases} \quad (7)$$

$$\beta = \begin{cases} 1 & ; FC \leq \%5 \\ 0.99 + (FC^{1.5}/1000) & ; \%5 < FC \leq \%35 \\ 1.2 & ; FC \geq \%35 \end{cases} \quad (8)$$

Sıvılaşmaya karşı güvenlik durumu Eşitlik (9)'da tanımlanmıştır. Güvenlik faktörünün (GF) 1.1'den az olması durumu sıvılaşma hassasiyetini ifade etmektedir (TBDY, 2018).

$$GF = \frac{KDO}{KGO} \quad (9)$$

2.2. Zemin Şişme Potansiyeli

Bünyelerine su aldıkça şişen ve bünyelerindeki suyu bırakınca büzüşen killer doğada mevcuttur. Bu tür zeminler üzerine inşa edilmiş yapılarda, çatlama, kabarma ve maalesef çökme durumları yaşanmaktadır. Şişme durumu bünyesine su alan kilin hacimce büyümesidir. Yer altı su seviyesi tablası altındaki killerde oldukça yüksek derecede şişme potansiyeli görülmektedir (Avşar, 2007). Şişme potansiyeli kil türü minerallerin türüyle ilişkili olduğundan dolayı birçok araştırmacı şişme davranışını bulmada kıvam limitleriyle aralarında bir ilişki kurmaya çalışmış ve araştırmalarını bu yönde yapmışlardır (Yılmaz ve Karacan, 1998).

Seed vd. 1962 yılında şişme davranışı için aşağıdaki eşitliği (Eşitlik (10)) ortaya koymuşlardır.

$$S = 60 \times 0.000036 \times (PI)^{2.44} \quad (10)$$

Çizelge 1. Şişme derecesi (Seed vd. 1962).

Ortalama Plastite İndeksi (PI)	Şişme Derecesi
%0-15	Düşük
%15-24	Orta
%24-46	Yüksek
%46	Çok yüksek

2.3. Zemin Sınıflandırmaları

Mühendislik tasarımlarında hem güvenilir hem de ekonomik yapı tasarlayabilmek, zemin açısından oluşabilecek tüm problemleri önceden bilmek ve gerekli mühendislik önlemlerini almak için zeminin fiziksel ve mekaniksel özellikleri hakkında yeteri kadar güvenilir bilgileri edinmek gerekmektedir. Yeni inşa edilecek yapıların yanı sıra oluşabilecek can ve mal kaybına neden olan doğal afetlere karşı önlemler alabilmek de gereklidir. Tüm bu sebeplerden dolayı zeminin yapısını iyi bilinmesi ve sıvılaşma, şişme, heyelan, deprem gibi problemler için önlem alınması gerekmektedir. Zemin sınıflandırmaları yapılırken jeolojik bulgular (sondaj), jeofizik test yöntemleri ile saha ve laboratuvar ve saha testlerinden elde edilen veriler birlikte değerlendirilmelidir. Zemin sınıflandırma kriterleri ve yerel zemin sınıfları 01.03.2018 tarihinde yayınlanan ve 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) yeniden tanımlanmıştır. Acil ve afet yönetimi başkanlığı (AFAD)'nın internet sitesinde

seçilen bölgenin koordinatlarıyla yerel etki katsayıları, deprem pik yatay ve düşey yer ivmesi, spektral ivme katsayıları, yer ivmesi hızları da görülebilmektedir. Depreme dayanıklı mühendislik yapıları inşa ederken seçilen bölgenin coğrafi koordinatlarıyla tasarım yapılması daha güvenilir bir hale getirilmiştir. Çizelge 2’de verildiği üzere zemin sınıflandırma tablosunda SPT, C_u ve $(V_s)_{30}$ hızlarına göre sınıflandırma yoluna gidilmiş ve jeofizik çalışmalarından olan sismik kırılma yöntemiyle zemin sınıflarının yeni şeklini belirlemiştir.

2.4. İnceleme Alanı

Bu çalışma kapsamında 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin etüdü ve sınıflandırması açısından mukayesesi bir örnek inceleme alanı özelinde yapılmıştır. Seçilen bu inceleme alanı hem sıvılaşma hem de şişme problemi potansiyeli taşıyan, İstanbul’da yapılaşmanın ve nüfusun yoğun olduğu Altın-tepe mahallesinde, yaklaşık olarak 30.000 kişi yaşamakta ve konut fiyatları ortalama olarak 2019 yılı itibarıyla 400.000 Türk Lirası değerinde satılmaktadır. Ayrıca Altın-tepe mahallesi olası depremde riskli bir bölgede yer almaktadır.

Örnek inceleme alanı İstanbul ili, Maltepe ilçesi, Altın-tepe mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Marmara denizi ile D-100 kara yolu arasında kalan inceleme alanına her

türlü kara nakil vasıtası ile ulaşmak mümkündür. İnceleme alanında eğimli alanlar mevcut olup eğim oranı %5-60 arasındadır. İnceleme alanı Marmara iklim tipinde yer almaktadır. İstanbul ili 41 derece kuzey enlemi, 29 derece doğu boylamında yer alır.

İnceleme alanı $40^{\circ} 57' 13.9536''$ ve $29^{\circ} 6' 16.0416''$ GPS koordinatlarında yer almaktadır. İnceleme alanının zemin sınıflandırmalarını yapmak, şişme ve sıvılaşma problemlerini belirlemek için toplam 52 lokasyonda yapılmış olan zemin etüdü çalışmalarının verisi değerlendirilmiş olup bu etüt çalışmaları toplamda 141 adet sondaj kuyusu, 7 adet araştırma çukuru ve 23 adet sismik kırılma çalışmasını içermektedir (Şekil 1).

2.5. Yatay Elastik Spektrumlar

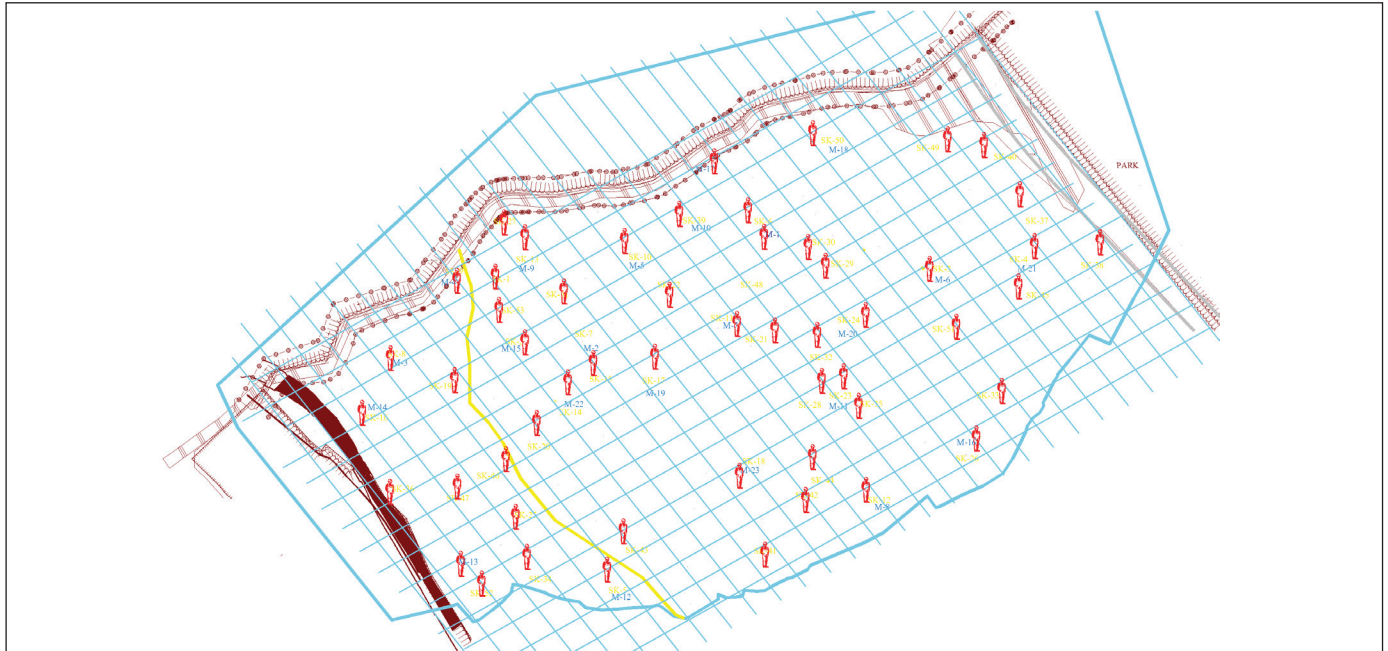
2007 yılında yayımlanan Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY2007) uyarınca deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı, $A(T)$, Eşitlik (11) ile verilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumu’nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme, $S_{ae}(T)$, Spektral İvme Katsayısı, $A(T)$ ile yerçekimi ivmesi, (g) ’nin çarpımına karşı gelmektedir.

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (11)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) g \quad (12)$$

Çizelge 2. Zemin sınıflandırma tablosu (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			



Şekil 1. İnceleme alanı üzerindeki sondaj ve sismik kırılma test konumları.

Çizelge 3. Zemin sınıflandırma tablosu (Türkiye Deprem Yönetmeliği, 2007).

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin grupları ve en üst zemin tabakası sınıfı
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

Eşitlik (11) ve (12)'de yer alan Etkin Yer İvmesi Katsayısı, A_0 , deprem bölgesine göre Çizelge 4'te tanımlanmıştır.

Çizelge 4. Etkin yer ivmesi katsayısı.

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Spektrum Katsayısı, $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak Eşitlik (13), (14) ve (15) ile hesaplanacaktır.

$$S(T) = 1 + 1.5 \left(\frac{T}{T_A} \right) \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (13)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (14)$$

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (T_B < T) \quad (15)$$

Eşitlik (12)'deki Spektrum Karakteristik Periyotları, T_A ve T_B , Çizelge 3'te verilen yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Spektrum karakteristik periyotları.

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (sn)	T_B (sn)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

2018 yılında yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018) hükümlerince dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri, "Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası (TDTH)" verileri baz alınarak depremsellik

parametreleri elde edilmeye çalışılmıştır (<https://tdth.afad.gov.tr/>). Bu bölümde elde edilen parametrelerin simgeleri ve tanımlamaları aşağıda özet bir şekilde verilmiştir.

PGA : En büyük yer ivmesi (g)

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

F_s : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı

F_1 : 1.0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

$S_{ac(T)}$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi (g)

T : Doğal titreşim periyodu (sn)

T_A, T_B : Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (sn)

T_L : Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu (sn)

$$S_{ac}(T) = [0.4 + 0.6 \left(\frac{T}{T_A} \right)] \times S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad 1. \text{ Durum} \quad (16)$$

$$S_{ac}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad 2. \text{ Durum} \quad (17)$$

$$S_{ac}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad 3. \text{ Durum} \quad (18)$$

$$S_{ac}(T) = S_{D1} \times \frac{T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad 4. \text{ Durum} \quad (19)$$

Burada T_A ve T_B yatay tasarım spektrumu köşe periyotları olarak tanımlanmış olup S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak bulunur.

$$T_A = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (20)$$

$$S_{DS} = S_s \times F_s \quad S_{D1} = S_1 \times F_1 \text{ olarak hesaplanır.} \quad (21)$$

S_s, S_1, F_s, F_1 değerleri Çizelge 6 ve Çizelge 7'ye göre alınacaktır.

Çizelge 6. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya Özel Zemin Davranış Analizi Yapılacaktır					

Çizelge 7. 1 Sn. periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya Özel Zemin Davranış Analizi Yapılacaktır					

3. Sonuçlar

İnceleme alanında elde edilen verilerden yararlanılarak 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliği ve 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre zemin sınıflandırmaları, şişme ve sıvılaşma potansiyellerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. TBDY 2018 için jeofizik yöntemlerle elde edilen $(V_s)_{30}$ hızları, saha testlerinden elde edilen standart penetrasyon test (SPT) verileri ve zemin laboratuvar testlerinden elde edilen drenajsız kayma mukavemeti (c_u) sonuçlarına göre değerlendirme yapılmıştır; ayrıca dayanımı düşük olan kaya tabakaları ZB zemin sınıfı olarak değerlendirilmiştir. Eldeki mevcut verileri kullanarak oluşturulan inceleme alanına ait TBDY 2018 zemin sınıfı haritası Çizelge 2 dikkate alınarak

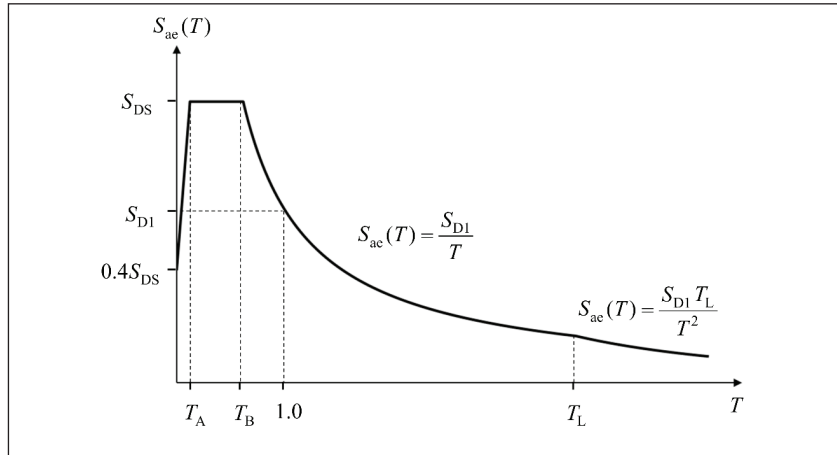
Şekil 5'te, TDY 2007'ye ait zemin sınıfı haritası Çizelge 3 dikkate alınarak Şekil 4'te verilmiştir.

İnceleme alanında yapılan çalışmalarda, 2007 yılında yayınlanan Türkiye Deprem Yönetmeliğine göre genellikle Z2 zemin sınıfı aralığında kalırken 2018 yılında yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre genellikle ZC zemin sınıfı aralığında kalmaktadır.

İnceleme alanı 3 ana hakim jeolojik birimden oluşmaktadır.

Bu birimler;

- Alüvyon
- Siltli kil birim
- Grovak birimidir.



Şekil 2. Yatay elastik tasarım spektral ivme ($S_{ae}(T)$) değişim grafiği (TBDY, 2018).



Şekil 3. İnceleme alanına ait Google Earth görüntüsü.

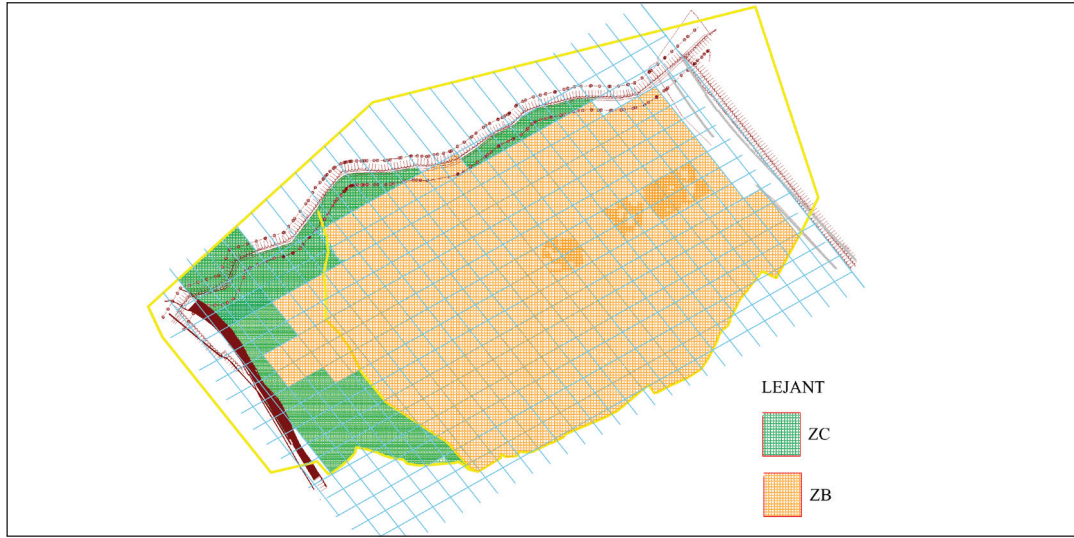
İnceleme alanı üzerinde yapılan çalışmalarda Marmara denizi kenarında kalan bölgeler ile Bostancı deresi kısmında kalan bölgelerde zemin sıvılaşma riski tespit edilmiştir. İnceleme alanının KB doğrultusunda kalan bölgelerde bulunan alüvyon tabakaları 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde belirtilen hesap yöntemine göre yüksek derecede sıvılaşma riski tespit edilmiştir. İnceleme alanı üzerinde sıvılaşma riski olan bölge oranı %16'dır (Şekil 6).

Yine inceleme alanı içinde yapılan çalışmalarda inceleme alanında orta-yüksek şişme potansiyeli olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanı üzerinde yapılan çalışmalarda KD bölgesi ile Bostancı deresi kısmında kalan bölgede zemin şişme

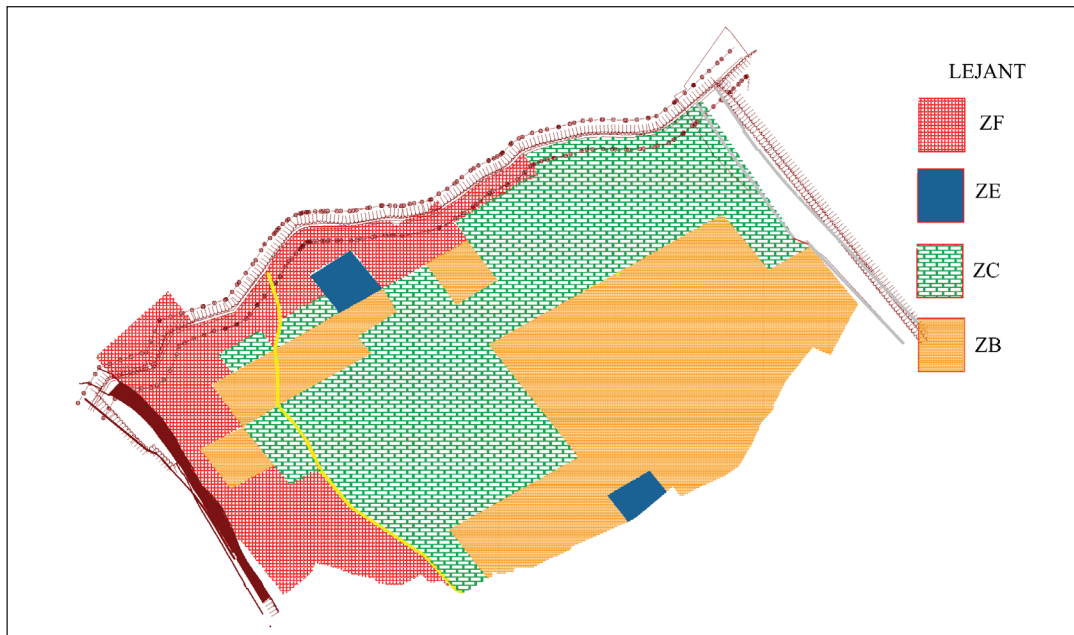
problemine rastlanılmıştır. İnceleme alanı üzerinde şişme potansiyeli olan bölge oranı %5'dir (Şekil 7).

2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğine göre inceleme alanı KB-GD doğrultusunda ki riskli olan alüvyonel bölgeler sıvılaşma ve şişme analizi yapılmadığı için, bu problemler irdelenmemiş ve zemin sınıfı Z2 olarak belirlenmiştir.

TBDY 2018'e göre yapılan değerlendirmelerde şişme ve sıvılaşma problemleri için genel açıklama ve formüller açıkça belirtilmiştir. TBDY 2018'e göre inceleme alanı üzerinde yapılan sıvılaşma ve şişme analizlerinde KB doğrultusu ve dere kenarında kalan bölgeler özel önlem alınması gereken bölümler sınıfına girmiş olup önlem almadan mühendislik



Şekil 4. İnceleme alanının TDY 2007'ye göre oluşturulan zemin sınıfı haritası.

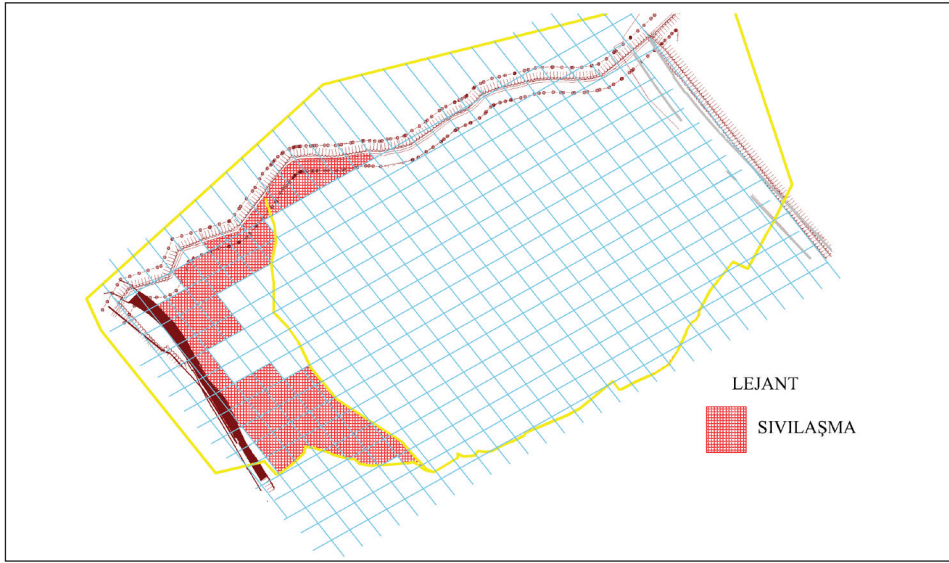


Şekil 5. İnceleme alanının TBDY 2018'e göre oluşturulan zemin sınıfı haritası.

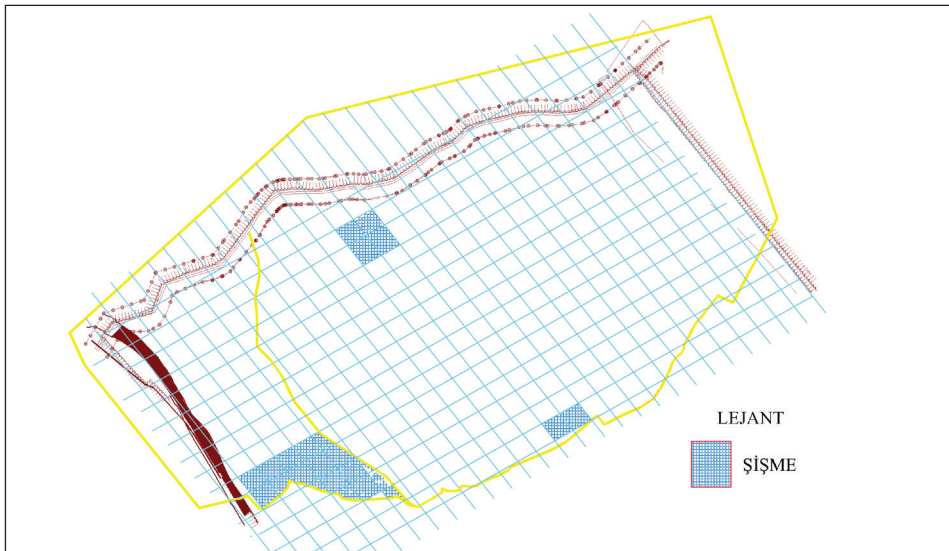
yapısı yapılmaması şartı getirilmiştir. İnceleme alanında yer altı su seviyesinin 4 ile 6 metre arasında derinliği sahip olmasından dolayı, yapılacak olan mühendislik yapılarının temeline etki edeceği göz önüne alındığında sıvılaşma ve şişme problemleri bu yapılar için tehlike arz etmektedir. Bu sebeple inşaat başlamadan önce zemin etüt çalışmalarıyla zeminin şişme ve sıvılaşma problemleri ortaya çıkarılmalı ve problemin olduğu yerlere özel önlem olarak çalışılmaya başlanmalıdır.

Deprem esaslı tasarımın en temel kriteri tasarım spektrumlarının oluşturulması ve spektral ivmelerin yapı için doğru olarak seçilmesidir. Tasarım spektrumlarının oluşturulmasında TDY 2007'deki kullanılan parametreler etkin yer ivme katsayısı (deprem bölgesi), bina önem katsayısı ve

yerel zemin sınıfı olarak belirtilmektedir. TBDY 2018'de ise dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri yenilenen Türkiye Deprem Haritaları ile tanımlanmıştır. Bu haritalardan ilgili deprem düzeyi için AFAD'a ait internet sitesinden harita spektral ivme katsayılarına koordinat bazında erişilebilmektedir. Bu ivme katsayılarından ise yerel zemin sınıfları vasıtası ile belirlenen yerel zemin etki katsayıları kullanılarak ilgili tasarım spektrumları elde edilmektedir. Konu ile ilgili olarak yönetmeliklerden alınan detaylı yöntemler ve eşitlikler Bölüm 2.5'te tarif edilmektedir. Bu yöntemler ışığında çalışma kapsamındaki örnek saha için hem eski hem yeni yönetmelik için yatay elastik tasarım spektrumları çıkarılmıştır. TDY 2007 uyarınca hazırlanan tasarım spektrumunda (Şekil 8) 1. derece deprem bölgesi



Şekil 6. İnceleme alanının TBDY 2018'e göre oluşturulan sıvılaşma risk haritası.



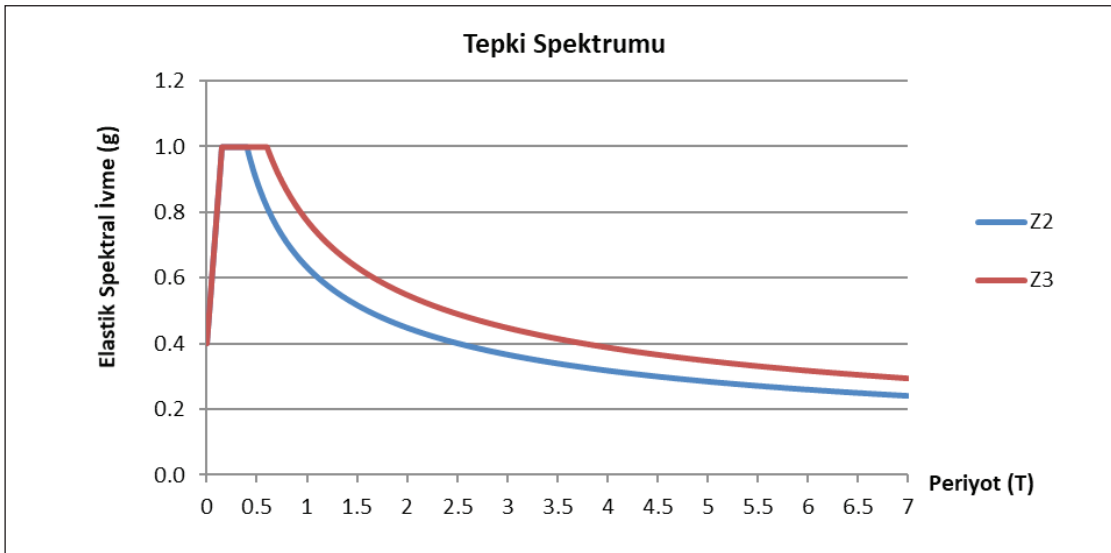
Şekil 7. İnceleme alanının TBDY 2018'e göre oluşturulan şişme potansiyeli haritası.

için sahada eski yönetmeliğe göre belirlenen iki zemin sınıfı Z2 ve Z3 kullanılmıştır. TBDY 2018 uyarınca hazırlanan tasarım spektrumunda ise (Şekil 9) çalışma alanında baskın olarak gözlenen ZB ve ZC zemin sınıfları için ilgili zemin sınıfı alanında olabilecek en yüksek harita spektral ivme katsayısı, tekrarlanma periyodu (475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi (DD2) için bulunmuş ve bu değere göre iki zemin sınıfı içinde tasarım spektrumları elde edilmiştir. Örnek sahada sıvılaşma ve şişme potansiyel riski taşıyan alanlar için yerel zemin sınıfı olarak ZF belirlenmiş olup yönetmelik gereği bu yerel zemin sınıfındaki alanlarda saha-ya özel zemin davranış analizi yapılması istenmektedir.

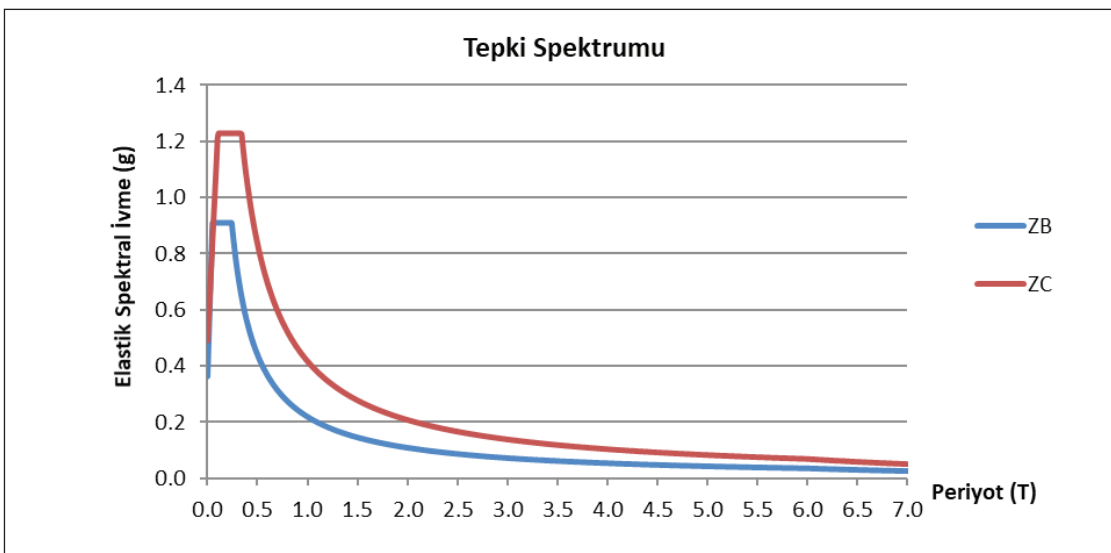
4. Tartışma

Bu çalışma 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin zemin etüdü ve sınıflandırması açısından örnek bir alan üzerinde uygulamalı kıyaslanması için yapılmış ilk çalışmalardan biri olması açısından önem arz etmektedir.

Altıntepe mahallesi üzerinde yaptığımız çalışmalarda alüvyonel birim içeren bölgeler belirlenmiştir. Alüvyonel birimler inceleme sahasının belirli bir bölümünü kaplamıştır. Yapılan sondaj çalışmalarından alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda, ince tane oranı %20 ile %35 arasında değişmektedir. Zemin sınıfları (SM) Siltli kum olarak belirlenmiş doğal su içeriği %15 ile %19 arasındadır. İnceleme sahasında ortalama 3 metre ile 20 metre arasındaki



Şekil 8. TDY 2007 uyarınca hazırlanmış yatay elastik tasarım spektrumu.



Şekil 9. TBDY 2018 uyarınca hazırlanmış yatay elastik tasarım spektrumu.

derinliklerden elde edilen güvenlik faktörü değeri ortalama olarak 0,90 olup 1'den küçüktür ve bu sebeple inceleme sahasında sıvılaşma riski çok yüksektir. Daha çok relatif sıklığı gevşek olarak tanımlanan kumlu ve kumlu silt/siltli kum zemin tiplerinde görülmesi beklenen sıvılaşma problemi alüvyonel formasyona sahip birçok inceleme sahasında da görülmektedir. Literatür de jeolojik ve jeoteknik özellikleri bu çalışmadaki inceleme sahasıyla benzerlik gösteren inceleme alanlarıyla mukayeseler yapılmış ve benzer zemin sıvılaşma problemlerinin bu sahalarda da görüldüğü tespit edilmiştir. Bu çalışmalarla ilgili detaylı analiz ve bulgular aşağıda verilmiştir. İnceleme sahaları üzerinde yapılan çalışmalarda alüvyonel birimlerin yapıları, zemin sınıfları ve ince tane oranları benzerlik göstermektedir.

Arifiye Adapazarı ovasının güneyinde, Sapanca gölünün doğu sınırında olan inceleme alanında, kuvaterner yaşlı çakıllı ve siltli kum içeren alüvyon malzeme, Adapazarı bölgesinin büyük bir bölümünde gözlenmiştir. Bölgedeki bu alüvyon istif Sakarya ve Mudurnu nehirlerinin taşıdığı malzemeden oluşmuştur. Çalışma alanında MASW veri kazanımı Arifiye ilçe sınırları içerisinde toplamda 37 noktada gerçekleştirilmiştir. MASW yöntemi ile sıvılaşma potansiyeli çalışmalarında gözlemlenen 200 m/s Vs değeri sınır alınmıştır. Sıvılaşma direncinde etkili yeraltı su seviyesi inceleme alanında Örencik Formasyonunda 15 m civarında, alüvyonda 1-2 m civarında olduğu tespit edilmiştir (Kayacı vd., 2018).

Hatay ili, Altınköy çevresinde yapılan mühendislik çalışmaları neticesinde, inceleme alanında hâkim birimin kuvaterner yaşlı alüvyonel zemin birimleri olduğunu saptanmıştır. Kuvaterner yaşlı alüvyonel birimler, inceleme alanının tamamını kaplamıştır. Yapılan sondaj çalışmalarından alınan numuneler üzerinde yapılan granülometrik analiz çalışmalarında alüvyonel birim içerisinde kum ve silt oranı %13,60 ile %48,74 arasında değişmektedir. Zemin sınıfı (SM) Siltli kum, doğal su içeriği %10,94 ile %19,70 arasındadır. İlgili inceleme alanı bu özellikleriyle bu çalışmada bahsi geçen çalışma alanına oldukça benzemektedir. İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında 6,00 m, 7,50 m, 9,50 m, 10,50 m derinliklerden elde edilen güvenlik faktörü değerleri 0,11 ile 0,77 arasında olup 1'den küçüktür. Bu durum inceleme alanında bulunan alüvyonel tabakasında sıvılaşma riskinin yüksek olduğunu göstermiştir (Karanlık ve Çetin, 2006).

Düzce ili, Camikebir mahallesi yapılan mühendislik çalışmaları neticesinde, inceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan verilerde inceleme alanını alüvyonel birimler kapsamaktadır. Yapılan sondajlardan alınan

örnekler üzerinde yapılan deneylere göre zemin sınıfları yukarıdan aşağıya doğru; az kumlu siltli kil, siltli kil kum, siltli iri kumlu kil çakıl, iri kum çakıl serileri geçmektedir. Yapılan çalışmalarda alüvyonel birimler üzerinde aşırı derecede sıvılaşma potansiyeli olduğu belirlenmiştir (Ateş, 2014).

Çokal Vadisinde (Kuzeybatı Türkiye) yapılan incelemelerde halen çökeliğini sürdürmekte olan alüvyonel çökellerin sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. Vadideki yeraltı suyu seviyesi, kuru dönemlerde yüzeyden 4m derinliktedir. Yağışlı mevsimlerde ise, yeraltı suyu yüzeylenmektedir. Araştırmada; Çokal vadisindeki alüvyon çökellerde sıvılaşma olayının oluşması için var olması gereken koşullar değerlendirilmiş ve zeminlerin sıvılaşabilir zeminler olduğu ortaya konmuştur (Ündül ve Gürpınar, 2003).

Düzce ilinin kent merkezinde yapılan çalışmalarda deprem yüzey kırığına 5-10 km uzaklıkta olan kent merkezi, Düzce ovasını oluşturan gevşek alüvyon zemin üzerindedir. Bu yoğunluk zonları olasılıkla yeraltı suyu seviyesi yüksek olan eski akarsu kanal dolgularının oluşturduğu zeminlerdir. Düzce'deki hasarın yerel zemin özelliklerinin belirleyici etkisi olmuştur (Ateş vd., 2013). Düzce'de deprem sonrası sıvılaşmaların yüzeye etkisine yönelik herhangi bir belirti gözlenmemesine karşın, bazı binalarda toplam veya kısmi sıvılaşmaya bağlı olarak oturmalar olduğu gözlenmiştir (Erdik, 2001). Güney ve güneydoğu kesimlerinde sıvılaşma potansiyelinin yüksek-çok yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, inceleme alanının kuzeyine doğru gidildikçe sıvılaşma potansiyeli azalsa da, LPI ve LSI yöntemlerine göre bu bölgelerin bazı kesimlerinde halen düşük-orta sıvılaşma potansiyeli olduğu görülmektedir (Akın, 2019).

Bu çalışma kapsamındaki inceleme sahası ile literatürde bahsi geçen ve yukarıda detayları verilen diğer çalışmalarda gözlenmiş olan, alüvyonel zeminlerde, zeminin sıvılaşma potansiyelinin çok yüksek olmasından dolayı, alüvyonel zeminler üzerine zemin ıslahı yapılmadan kati süratle mühendislik yapılarının inşa edilmemesi gerekmektedir.

Altıntepe mahallesi üzerinde yaptığımız çalışmalarda Seed vd. (1962) tarafından hazırlanan kıvam limitleri formülüyle w/LL bağıntısı kullanılarak zeminlerin şişme potansiyelleri incelenmiştir. Yapılan incelemelerde plastite indislerinin yüksek olmasından dolayı, kırıklı kayaların ve Sultanbeyli formasyonuna ait killerin bulunduğu bölgelerde yüksek derecede şişme derecesine rastlanılmıştır.

Literatürde kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli ile ilgili yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar,

zeminlerin farklı özelliklerinden yararlanarak şişme potansiyeli hakkında doğru ve güvenilir yaklaşımlar yapmayı hedeflemektedir. Avcılar-Esenyurt arasında yapılan sondaj çalışmalarıyla iki bölge arasında kalan birimlerin şişme potansiyelleri değerlendirilmiştir. Şişme potansiyeli İstanbul, Avcılar-Esenyurt arasında yüzeylenen ve dane çapı 40 no.'lu elek (0.425 mm)'ten küçük olan kısımları içeren litolojik birimler için hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalarda Herhangi bir $P_i(x_i, y_i)$ koordinatında kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyelinin olası % değeri ise Vijayvergiya ve Ghazzaly (1973) tarafından önerilen ve zeminin doğal su içeriği ile likit limit değerine bağlı olarak tanımlanan grafiksel bir ilişkiden yararlanarak belirlenebilmiştir. Bu grafik ile litolojik birimlerde beklenen hacmen olası şişme değeri, w-LL ilişkisine bağlı olarak elle belirleneceğinden kesin değer olmayıp yaklaşık bir değer olacaktır. İnceleme alanı kapsamındaki Küçükçekmece gölüne bakan yamaçlarda ve Marmara denizi kıyılarında yüzeylenmiş ayrık kırıntılı kayaçların bulunduğu alanların şişme açısından sınır ve kritik değerde olduğunu göstermiştir (Bozkurtoğlu vd., 2014). Şişme potansiyeli incelemesi için çalışmamızdaki inceleme alanı ile ilgili makaledeki inceleme alanı benzerlik gösterse de farklı analiz yöntemleri kullanılmış olup şişme potansiyeli açısından yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Şişen zeminler yapılar için büyük sorunlar teşkil etmektedir ve mutlaka zeminin ıslah edilerek şişme probleminin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu ıslah yöntemleri; kimyasal katkı maddelerin kullanılması, temeller ve döşemeler inşa edilmesi, ön ıslatma yapılarak sıkıştırma kontrolü ile zeminin iyileştirilmesi ve su içeriğinin korunması şeklinde özetlenebilir (Demir, 2010).

Bu çalışma kapsamında inceleme alanı için iki ayrı yönetmelikten elde edilen sonuçlar mukayese edildiği zaman olası zemin problemlerinin risklerini (sıvılaşma, şişme) belirleme, bu riskleri zemin sınıflandırmasına yansıtma ve gerekli önlemlerin alınmasını sağlama açısından TDBY 2018 yönetmeliği ile daha gerçekçi ve detaylı analiz ve yöntemlerin yürürlüğe girdiği görülmüştür.

Deprem yol açtığı etkilerden olan sıvılaşma ve şişme problemlerini incelemek ve önlemler almak için yöntemler belirlenmiş ve problem olan sahalara özel önlem alınmasını gerekli kılınmıştır.

Örnek inceleme alanı üzerinde, TDY 2007'de sıvılaşma ve şişme problemleri ile ilgili net analizler mevcut olmadığından dolayı TDY 2007'ye ait yapılan mühendislik yapılarının birçoğunda özel önlem alınması gerekmeden

inşaatlar yapılmıştır. Bu sebepten dolayı inceleme alanında olan yüksek şişme ve sıvılaşma problemlerinin yapılarda hasarlar meydana getirmesi muhtemeldir.

İnceleme alanında yapılacak olan mühendislik yapılarında imalatlara geçilmeden önce zemin araştırmalarının titizlikle yapılması ve uzman mühendisler tarafından dikkatle değerlendirilmesi gereklidir. Araştırma sahalarda zemin etüdü yapılırken yeterli ve gerekli sayıda sondaj yapılarak zeminin bütün özellikleri belirlenmelidir. Hazırlanan zemin raporların mühendislik yapı temellerinin oturacağı ve gerilmelerin meydana geleceği derinlikleri tanımlayacak şekilde yapılması gerekmektedir.

5. Kaynaklar

- Afet ve Acil Durum Başkanlığı, 1975.** Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- Afet ve Acil Durum Başkanlığı, 2007.** Türkiye Deprem Yönetmeliği, *Resmi Gazete*, Sayı; 30364, Ankara.
- Afet ve Acil Durum Başkanlığı, 2018.** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, *Resmi Gazete*, Sayı; 30364 Ankara.
- Akın, MK. 2019.** Düzce Kent Merkezi Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi / Journal of Geological Engineering*, 43: 39-56, Doi: 10.24232/jmd.572465.
- Alyamaç, KE., Erdoğan, AS. 2005.** Geçmişten Günümüze Afet Yönetmelikleri ve Uygulamada Karşılaşılan Tasarım Hataları. *Deprem Sempozyumu*, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- Ateş, A., Toprak, B., Yeşil, B., 2013.** Düzce ilinde yapı hasarlarının zemin büyüme özellikleri ve yapı rezonans uyumu ile ilgisinin araştırılması. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Cilt 2, Sayı 3, s. 76-86.
- Ateş, A. 2014.** Düzce İli Camikebir Mahallesi Kentsel Dönüşüm Alanı Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Arazi Deneyle İle Araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2: 112-127.
- Avşar, E. 2007.** Kilde Şişme Anizotropisinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, 88 s.
- Bozkurtoğlu, E., Şans, G., Eyüboğlu, R. 2015.** Kohezyonlu Zeminlerin Şişme Potansiyeli İçin Bir Yaklaşım: Avcılar-Esenyurt Örneği. *Pamukkale Üniversitesi Müh. Bilim Dergisi*, 21(6), s. 270-275. Doi: 10.5505/pajes.2014.36025.
- Demir, S., Kılıç, M. 2010.** Şişen Zeminlerin Tanımlanması ve Zemin İyileştirme Yöntemleri. *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), s. 95-104.
- Erdik, M. 2001.** Report on 1999 Kocaeli And Düzce (Turkey) Earthquakes. *Structural Control for Civil and Infrastructure Engineering*, pp. 149- 186.

- Halaç, B. 2016.** Deprem Yönetmeliklerindeki Zemin Sınıflandırma Kriterlerinin Zemin Büyütme Açısından İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, 68s.
- Karakuş, K. 2009.** Plana Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Çalışmaları ve Yasal Mevzuat. *Jeoloji Mühendisleri Odası*, Jeoloji Yayını No:104, Ankara, 978-9944-89-695- 5.
- Karanlık S., Çetin H. 2006.** Hatay Altinköy Çevresinin Zemin Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesi. *Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, Cilt 15-3.
- Kayacı, S., Silahtar, A., Dolmaz, MN. 2018.** Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) ile Zemin Özellikleri ve Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi: Arifiye-SAKARYA Örneği. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2), s. 450-458. Doi, 10.16984/soaufenbilder.345461.
- Keskin, E., Bozdoğan, KB. 2018.** 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Kırklareli İli Özelinde Değerlendirilmesi. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 4-1: 74-90.
- Seed, HB., Woodward, RJ., Jr., Lundgren, R. 1962.** Prediction of swelling potential for compacted clays. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers*, Vol., 88, No. SM3: 53-87.
- Seed, HB., Idriss, IM., 1971.** Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 97, pp. 1249-1273.
- Taylan, ZN., Uysal, H., Lav, MA., Erken, A. 2007.** Sıvılaşma Ve Taşıma Gücü Kaybı Sonucu Oluşan Oturmaları Kapsayan Vaka Analizi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.
- Ündül, Ö., Gürpınar, O. 2003.** Çokal Vadisindeki (Gelibolu) Alüvyal Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyeli. *İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C.16 S.1, ss. 67-80.
- Vijayvergiya, VN., Ghazzaly, OI., 1973.** Prediction of swelling potential for natural clays. Proceedings of 3rd International Conference Expansive Soils, Vol.1, pp. 227-236.
- Yaldız, Ö. 2013.** Killi Zeminlerde Şişme Basıncının Basit İndeks Parametreleriyle Tayini. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, 84 s.
- Yılmaz, I., Karacan, E. 1998.** Zeminlerin Şişme Özellikleri, *Jeoloji Mühendisliği*, Sayı 52: 17-26.



Saçılım Terimi İçeren Durağan Kinetik Denklem için Bir Ters Problemin Yaklaşık Çözümünün Araştırılması

Investigation of the Approximate Solution of an Inverse Problem for a Stationary Kinetic Equation with a Scattering Term

İsmet Gölgeleyen* , Neslihan Albuz

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Zonguldak, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, sınırlı bir bölgede saçılım terimi içeren durağan bir kinetik denklem için bir ters problemin sayısal çözümü araştırılmaktadır. İlk olarak problem üçüncü mertebeden bir kısmi türevli diferensiyel denklem için bir Dirichlet problemine indirgenmiştir. Daha sonra ortaya çıkan denklemdeki türev ve integral içeren terimlere sırasıyla sonlu fark yaklaşımı ve Newton-Cotes formülleri uygulanmıştır. Böylece katsayılar matrisi bir üçlü köşegen blok matris olan bir lineer cebirsel denklem sistemi elde edilmiştir. Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için bazı model ters problemler bir Bilgisayar Cebir Sistemi yardımıyla sayısal olarak çözülmüştür. Son olarak, elde edilen yaklaşık sonuçlar kesin çözümler ile çizelge ve grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kinetik denklem, Newton-Cotes formülleri, Sonlu fark metodu, Ters problem

Abstract

In this work, the numerical solution of an inverse problem for a stationary kinetic equation with a scattering term is investigated in a bounded domain. We first reduce the problem to a Dirichlet problem for a third order partial differential equation. Next, we apply the finite difference approximation and Newton-Cotes formulas to the derivatives and the integral term in the equation, respectively. As a result, we obtain a system of linear algebraic equations whose coefficient matrix is a block tridiagonal matrix. In order to show the effectiveness of the method, some model inverse problems are solved numerically by using a Computer Algebra System. The obtained approximate results are compared with the exact solutions by using tables and graphs.

Keywords: Kinetic equation, Newton-Cotes formulas, Finite difference method, Inverse problem

1. Giriş

Bu çalışmada bir

$$\Omega = \{(x, v) \mid x \in (a, b) \subset \mathbb{R}, v \in (c, d) \subset \mathbb{R}\}$$

bölgesinde

$$\begin{aligned} Lu &\equiv v \frac{\partial u}{\partial x} + f \frac{\partial u}{\partial v} + \int_c^d K(x, v, v') u(x, v') dv' \\ &= \lambda(x, v) + F(x, v) \end{aligned} \quad (1)$$

kinetik denklemi ele alınmıştır. Kinetik denklemler matematiksel fiziğin temel denklemleri olup maddenin

hareketinin sürekliliğini modellemektedir. Bu denklemler Fen ve Sosyal bilimlerdeki birçok olayın matematiksel tasvirinde karşımıza çıkmaktadır (Anikonov 2001). Kinetik denklemler için ters problemler hem teorik hem de pratik açıdan önemlidir. Bu problemler fiziksel olarak parçacık etkileşim kuvvetleri, radyasyon kaynakları, saçılım göstergeleri ve diğer fiziksel parametrelerin belirlenmesini içerir (Amirov 2001).

Kinetik ve transport denklemler için çeşitli ters problemlerin çözülebilirliği ve yaklaşık çözümleri (Amirov 2001, Gölgeleyen 2010, Gölgeleyen 2013, Gölgeleyen et al. 2010, Amirov et al. 2009, Amirov et al. 2011) de incelenmiştir. Bu çalışmada farklı olarak integral terimi içeren (1) denklemi için sayısal bir çözüm yöntemi önerilmiştir.

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: ismet.golgeleyen@beun.edu.tr

Bu makalede aşağıdaki problem incelenecektir:

Problem 1 Kabul edelim ki

$f \in C^1(\bar{\Omega}), K(x, v, v') \in C^2(\bar{\Omega})$ fonksiyonları verilsin. (1) denklemini,

$$u|_{\partial\Omega} = 0, \quad (2)$$

sınır koşulunu ve

$$\hat{L}\lambda \equiv \frac{\partial^2 \lambda}{\partial x \partial v} = 0 \quad (3)$$

bağıntısını sağlayan Ω da tanımlı (u, λ) fonksiyonlar çiftinin bulunması problemini ele alalım. Yukarıda verilen (3) diferensiyel denklemi genelleşmiş fonksiyonlar anlamında sağlanır. Yani her $\eta \in C_0^\infty(\Omega)$ için

$$\langle \lambda, \hat{L}^* \eta \rangle = 0$$

dır. Burada \hat{L}^*, \hat{L} nın Lagrange anlamında eşlenik ifadesidir.

Matematiksel fiziğin problemleri genel olarak aşağıdaki kurala göre direkt ve ters problem olarak sınıflandırılmaktadır. Örneğin fiziksel bir sistem içerisinde ve dış etkiye maruz olan bir süreci ele alalım. Burada sistemin özelliklerinin bilindiğini kabul edelim. Bu durumda ilgili süreci tanımlama problemi direkt problem olarak ifade edilir. Diğer taraftan, kabul edelim ki bu sürecin nasıl işlediği hakkında ek bir bilgimiz olsun fakat sistemin bazı parametreleri veya kaynakları bilinmesin. Bu parametrelerin belirlenmesi problemi ters problem olarak adlandırılır (Blagoveshchenskii 2001).

Klasik olarak direkt problem, uygun fizik yasalarını kullanarak verilen bir sebepten bir tek sonucun bulunması olarak ifade edilir. Bu nedenle genel olarak matematikte ve diğer doğa bilimlerinde bir problemin çözümünün varlığı, teklifi ve küçük değişikliklere karşı duyarlılığı önemli bir araştırma konusu olmaktadır. Böyle problemlere iyi konulmuş problem denir.

Bilim ve teknolojideki gelişmeler ve gereksinimler doğrultusunda klasik direkt problemlere ters olan problemlerin çözümüne ihtiyaç duyulmuştur. Daha açık olarak, bir sonuçtan nedenin veya neden ve sonuç verildiğinde fizik kanununun belirlenmesi problemi ortaya çıkmıştır. Bu tür problemlere örnek olarak sınırda yapılan ölçümlerden ulaşılamayan bir bölgenin iç yapısının özelliklerinin belirlenmesi, girdi ve çıktı ölçümlerinden sistem parametrelerinin belirlenmesi, bugüne ait verilerden geçmiş olayların belirlenmesi gibi uzaktan algılama ve direkt olmayan ölçüm ile ilgili pek çok problem verilebilir. Bu tür ters problemler genellikle kötü konulmuştur çünkü farklı sebepler aynı sonucu doğurabilir ve sonuçta ortaya çıkan küçük değişiklikler verilen sebepte büyük bir değişikliğe karşılık gelebilir (Groetsch 1993).

Problem 1 için çözülebilirlik şartları aşağıda verilmiştir.

2. Ters Problemin Çözülebilirliği

Bu bölümde, Problem 1'in çözülebilirliği için, ispat yöntemi Amirov (2001) de verilen, iki teorem sunulmuştur. Bu amaçla ilk olarak aşağıdaki kümeyi tanımlayalım:

$\Gamma(A)$ kümesi aşağıdaki özellikleri sağlayan fonksiyonlardan oluşan bir kümedir:

i. $u \in \Gamma(A)$ için genelleşmiş fonksiyonlar anlamında $Au \in L_2(\Omega)$ dır. Burada

$$Au = \hat{L}Lu \text{ olarak tanımlıdır.}$$

ii. Bir $\{u_k\} \subset \tilde{C}_0^3 = \{\varphi: \varphi \in C^3(\Omega), \varphi|_{\partial\Omega} = 0\}$ dizisi vardır öyle ki

$$u_k \xrightarrow{L_2(\Omega)} u \text{ ve } \langle Au_k, u_k \rangle \rightarrow \langle Au, u \rangle, k \rightarrow \infty \text{ dır.}$$

Teorem 1: Kabul edelim ki

$f \in C^1(\bar{\Omega}), K(x, v, v') \in C^1([a, b] \times [c, d] \times [c, d])$, olmak üzere aşağıdaki eşitsizlikler sağlansın:

$$f_x \geq \alpha_1, \alpha_1 - \frac{L_0}{2} \geq \alpha_2. \quad (4)$$

Burada $L_0 = l_0 C, l_0 = \max_{x \in [a, b]} \int_c^d \int_c^d K_v^2(x, v, v') dv dv'$ ve α_1, α_2 pozitif sayılardır.

Bu durumda Problem 1, en çok bir (u, λ) çözümüne sahiptir öyle ki $u \in \Gamma(A)$ ve $\lambda \in L_2(\Omega)$ dır.

İspat: Kabul edelim ki $(u, \lambda), \partial\Omega$ sınırında $u = 0$ ve $u \in \Gamma(A)$ olacak şekilde Problem 1'in bir çözümü olsun. (1) denkleminde $F = 0$ olmak üzere ve (3) şartından $Au = 0$ olur. Ayrıca $u \in \Gamma(A)$ olduğundan bir $\{u_k\} \subset \tilde{C}_0^3$ dizisi vardır öyle ki $L_2(\Omega)$ da $u_k \rightarrow u$ ve $k \rightarrow \infty$ iken $\langle Au_k, u_k \rangle \rightarrow 0$ olur. $\partial\Omega$ sınırında $u_k = 0$ olduğu göz önünde bulundurulurak

$$-2\langle Au_k, u_k \rangle = 2\left\langle \frac{\partial}{\partial v}(Lu_k), u_k \right\rangle$$

yazılabilir. Son eşitliğin sağ tarafı için

$$2\frac{\partial u_k}{\partial x} \frac{\partial}{\partial v}(Lu_k) = 2\left(\frac{\partial u_k}{\partial x}\right)^2 + 2v \frac{\partial u_k}{\partial x} \frac{\partial^2 u_k}{\partial x \partial v} + 2f_v \frac{\partial u_k}{\partial x} \frac{\partial u_k}{\partial v} + 2f \frac{\partial u_k}{\partial x} \frac{\partial^2 u_k}{\partial v^2} + 2\frac{\partial u_k}{\partial x} \left(\int_c^d K_v(x, v, v') u_k(x, v') dv' \right) \quad (5)$$

bulunur. (5) eşitliğinin sağ tarafındaki ikinci ve dördüncü terimler tekrar değerlendirilirse

$$2\frac{\partial u_k}{\partial x} \frac{\partial}{\partial v}(Lu_k) = \frac{\partial^2 u_k}{\partial x^2} + \left(v \frac{\partial^2 u_k}{\partial x^2}\right)_v + 2\left(f \frac{\partial u_k}{\partial x} \frac{\partial u_k}{\partial v}\right) - \left(f \frac{\partial^2 u_k}{\partial v^2}\right)_x + \left(f_x \frac{\partial^2 u_k}{\partial v^2}\right) + 2\frac{\partial u_k}{\partial x} \left(\int_c^d K_v(x, v, v') u_k(x, v') dv' \right) \quad (6)$$

olduğu görülür. Eğer bölgenin geometrisi ve $\partial\Omega$ 'da $u_k = 0$ olması dikkate alınırsa (6) dan

$$-\langle Au_k, u_k \rangle = J(u_k) \quad (7)$$

elde edilir. Burada

$$J(u_k) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \left(\left(\frac{\partial u_k}{\partial x} \right)^2 + \left(f_x \frac{\partial^2 u_k}{\partial v^2} \right) + 2 \int_c^d K_v(x, v, v') u_k(x, v') dv' \frac{\partial u_k}{\partial x} \right) d\Omega \quad (8)$$

dır. (8) in sağındaki üçüncü terimi aşağıdaki şekilde değerlendirebiliriz:

$$\begin{aligned} & \int_{\Omega} \int_c^d K_v(x, v, v') u_k(x, v') dv' u_{k_x} d\Omega \\ & \geq -\frac{1}{2} \int_{\Omega} \left(\left(\int_c^d K_v(x, v, v') u_k(x, v') dv' \right)^2 + (u_{k_x})^2 \right) d\Omega \\ & \geq -\frac{L_0}{2} \int_{\Omega} (u_{k_x})^2 d\Omega - \frac{1}{2} \int_{\Omega} (u_{k_x})^2 d\Omega. \end{aligned} \quad (9)$$

Burada $l_0 = \max_{x \in [a, b]} \int_c^d \int_c^d K_v^2(x, v, v') dv dv', L_0 = l_0 C$ dir.

Ω bölgesi sınırlı ve $\partial\Omega$ sınırında $u_k = 0$ olduğundan, Steklov eşitsizliği, teoremin kabulleri ve (9) dan

$$\begin{aligned} J(u_k) & \geq \frac{1}{2} \int_{\Omega} (u_{k_x})^2 d\Omega + \alpha_1 \int_{\Omega} (u_{k_x})^2 d\Omega - \frac{L_0}{2} \int_{\Omega} (u_{k_x})^2 d\Omega \\ & - \frac{1}{2} \int_{\Omega} (u_{k_x})^2 d\Omega \geq \alpha_1 \int_{\Omega} (u_{k_x})^2 d\Omega - \frac{L_0}{2} \int_{\Omega} (u_{k_x})^2 d\Omega \\ & \geq \left(\alpha_1 - \frac{L_0}{2} \right) \int_{\Omega} (u_{k_x})^2 d\Omega \geq \alpha_2 \int_{\Omega} (u_k)^2 d\Omega \end{aligned}$$

yazılabilir. $\Gamma(A)$ tanımı kullanılarak

$$\int_{\Omega} u^2 d\Omega \leq 0$$

bulunur. Bu durumda $u(x, v) = 0$ ve (1) denkleminde $\lambda(x, v) = 0$ olduğu görülür. Böylece Problem 1'in çözümünün teklifi ispatlanmış olur.

Problem 1'in çözümünün varlığı için aşağıdaki teorem verilmiştir. Bu teoremin ispatı Amirov (2001) de yer alan Teorem 2.2.2'nin ispatına benzer şekilde yapılır.

Teorem 2: Kabul edelim ki $F \in H^2(\Omega)$ olsun. Teorem 1'in şartları altında Problem 1'in bir (u, λ) çözümü vardır öyle ki $u \in \Gamma(A) \cap H^1(\Omega), \lambda \in L_2(\Omega)$ dir.

Burada $H^1(\Omega)$ ve $H^2(\Omega)$ uzayları Sobolev uzaylarıdır (Adams 2003).

3. Ters Problem İçin Bir Sayısal Çözüm Yöntemi

Bu bölümde, Problem 1'in yaklaşık çözümünü elde etmek için bir sayısal çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu amaçla

$\hat{L} = \frac{\partial^2}{\partial v \partial x}$ operatörünü (1) denklemine uygulayalım:

$$u_{xx} + u_{xxx} + f_{xx} u_v + f_v u_{xx} + f_x u_{vv} + f u_{vxx} + \int_c^d K_{xx}(x, v, v') u(x, v') dv' + \int_c^d K_v(x, v, v') u_x(x, v') dv' = \mathcal{F}. \quad (10)$$

Burada $\mathcal{F} = \hat{L}F$ şeklinde tanımlıdır ve (10) denklemi üçüncü mertebeden bir kısmi türevli diferensiyel denklemdir. Böylece (2) sınır koşuluyla birlikte bir Dirichlet problemi ortaya çıkar. Aşağıda bu problemin sayısal çözümü için bir yöntem verilecektir. Bu amaçla

$$x_i = a + i\Delta x, i = 0, \dots, n; v_j = c + j\Delta v, j = 0, \dots, m$$

olmak üzere (10) denklemindeki türevler için sonlu fark yaklaşımı, integral terimler için ise Newton-Cotes formülü kullanılırsa (Burden 2011);

$$\begin{aligned} & \frac{w_{i+1,j} - 2w_{i,j} + w_{i-1,j}}{(\Delta x)^2} \\ & + \frac{2w_{i,j-1} - 2w_{i,j+1} + w_{i+1,j+1} + w_{i-1,j+1} - w_{i+1,j-1} - w_{i-1,j-1}}{2(\Delta x)^2 \Delta v} v_j \\ & + \frac{w_{i,j+1} - w_{i,j-1}}{2\Delta v} \frac{\tilde{f}_{i+1,j+1} - \tilde{f}_{i+1,j-1} - \tilde{f}_{i-1,j+1} + \tilde{f}_{i-1,j-1}}{4\Delta x \Delta v} \\ & + \frac{w_{i+1,j+1} - w_{i+1,j-1} - w_{i-1,j+1} + w_{i-1,j-1}}{4\Delta x \Delta v} \frac{\tilde{f}_{i+1,j} - \tilde{f}_{i-1,j}}{2\Delta x} \\ & + \frac{w_{i,j+1} - 2w_{i,j} + w_{i,j-1}}{(\Delta v)^2} \frac{\tilde{f}_{i,j+1} - \tilde{f}_{i,j-1}}{2\Delta v} \\ & + \frac{2w_{i-1,j} - 2w_{i+1,j} + w_{i+1,j+1} + w_{i-1,j+1} - w_{i+1,j-1} - w_{i-1,j-1}}{2(\Delta v)^2 \Delta x} \tilde{f}_{i,j} \\ & + [a_j k_7 w_{i,j}] + [a_j k_8 (w_{i+1,j} - w_{i-1,j})] = \mathcal{F}_{i,j} \end{aligned} \quad (11)$$

elde edilir. Burada I, J pozitif sayılar, $\Delta x = \frac{b-a}{I+1}$ ve $\Delta v = \frac{d-c}{J+1}$ sırasıyla x ve v yönlerindeki adım büyüklükleri, $w_{i,j}$ ise $u(x_i, v_j) = u(a + i\Delta x, c + j\Delta v)$ için sonlu fark yaklaşımıdır. Ayrıca (11) de $L_j(v)$ Lagrange interpolasyon polinomları olmak üzere,

$$\begin{aligned} a_j & = \int_{v_0}^{v_m} L_j(v) dv = \int_{v_0}^{v_m} \prod_{j=0, j \neq i}^m \frac{(v - v_j)}{(v_i - v_j)} dv, \\ \mathcal{F}_{i,j} & = \mathcal{F}(x_i, v_j) = \mathcal{F}(a + i\Delta x, c + j\Delta v), f_{i,j} = f(x_i, v_j) \\ & = f(a + i\Delta x, c + j\Delta v) \end{aligned}$$

dir. (11) cebirsel denklem sistemi düzenlenirse:

$$\begin{aligned} & w_{i-1,j-1} (-k_2 + k_4 - k_6) + w_{i,j-1} (2k_2 + k_3 - k_5) \\ & + w_{i+1,j-1} (-k_2 + k_4 + k_6) + w_{i-1,j} (k_1 + 2k_6 - a_j k_8) \\ & + w_{i,j} (-2k_1 + 2k_5 + a_j k_7) + w_{i+1,j} (k_1 - 2k_6 + a_j k_8) \\ & + w_{i-1,j+1} (k_2 - k_4 - k_6) + w_{i,j+1} (-2k_2 + k_3 + k_5) \\ & + w_{i+1,j+1} (k_2 - k_4 + k_6) = \mathcal{F}_{i,j} \end{aligned} \quad (12)$$

elde edilir. Burada

$$\begin{aligned}
 k_1 &= \frac{1}{\Delta x^2}, k_2 = \frac{v}{(\Delta x)^2 (\Delta v)}, \\
 k_3 &= \frac{1}{2(\Delta v)} \frac{\tilde{f}_{i+1,j+1} - \tilde{f}_{i+1,j-1} - \tilde{f}_{i-1,j+1} + \tilde{f}_{i-1,j-1}}{4\Delta x \Delta v}, \\
 k_4 &= \frac{1}{4(\Delta x)(\Delta v)} \frac{\tilde{f}_{i,j+1} - \tilde{f}_{i,j-1}}{2\Delta v}, k_5 = \frac{1}{(\Delta v)^2} \frac{\tilde{f}_{i+1,j} - \tilde{f}_{i-1,j}}{2\Delta x}, \\
 k_6 &= \frac{\tilde{f}_{i,j}}{2(\Delta x)(\Delta v)^2}, \\
 k_7 &= a_j \frac{K(x_{i+1}, v_{j+1}) - K(x_{i+1}, v_{j-1}) - K(x_{i-1}, v_{j+1}) + K(x_{i-1}, v_{j-1})}{4(\Delta x)(\Delta v)}, \\
 k_8 &= a_j \frac{K(x_i, v_{j+1}) - K(x_i, v_{j-1})}{4(\Delta x)(\Delta v)}
 \end{aligned}$$

olarak tanımlanır. Ek olarak sınır koşulları için

$$\begin{aligned}
 w_{0,j} &= u(a, v_j) = 0, w_{l+1,j} = u(b, v_j) = 0, w_{i,0} = u(x_i, c) \\
 &= 0, w_{i,j+1} = u(x_i, d) = 0
 \end{aligned}$$

yazılabilir. Böylece $w_{1,1}, w_{2,1}, \dots, w_{l,1}, w_{1,2}, w_{2,2}, \dots, w_{l,2}, \dots, w_{1,2}, \dots, w_{1,j}, w_{2,j}, \dots, w_{l,j}$ sıralaması esas alınarak,

$$NW = \mathcal{T} \tag{13}$$

şeklinde bir matris denklemini ortaya çıkar. Burada N bir üçlü köşegen blok matris olup aşağıdaki formdadır:

$$N = \begin{bmatrix} P^{(1)} & R^{(1)} & 0 & \dots & 0 \\ S^{(2)} & P^{(2)} & R^{(2)} & \ddots & \vdots \\ 0 & S^{(3)} & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & R^{(J-1)} \\ 0 & \dots & 0 & S^{(J)} & P^{(J)} \end{bmatrix}_{I \times I} \tag{14}$$

(14) matrisinde yer alan $P^{(j)}, R^{(j)}, S^{(j)}$ matrisleri aşağıdaki şekilde tanımlıdır. Burada $P^{(j)} = P^{(j')} + K^{(j')}$ ve $P^{(j')}, K^{(j')}$ sırasıyla türevden ve integralden gelen terimlerden oluşan matrislerdir:

$$P^{(j')} = \begin{bmatrix} p_1^{(1,j)} & p_2^{(1,j)} & 0 & \dots & 0 \\ p_3^{(2,j)} & p_1^{(2,j)} & p_2^{(2,j)} & \ddots & \vdots \\ 0 & p_3^{(3,j)} & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & p_2^{(I-1,j)} \\ 0 & \dots & 0 & p_3^{(I,j)} & p_1^{(I,j)} \end{bmatrix}_{I \times I},$$

$$K^{(j')} = \begin{bmatrix} k_1^{(1,j)} & k_2^{(1,j)} & k_3^{(1,j)} & \dots & k_l^{(1,j)} \\ k_1^{(2,j)} & k_2^{(2,j)} & k_3^{(2,j)} & \ddots & \vdots \\ k_1^{(3,j)} & k_2^{(3,j)} & \ddots & \ddots & k_l^{(3,j)} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & k_l^{(I-1,j)} \\ k_1^{(I,j)} & \dots & k_{l-2}^{(I,j)} & k_{l-1}^{(I,j)} & k_l^{(I,j)} \end{bmatrix}_{I \times I}$$

Ayrıca, $R^{(j)} = R^{(j')} + L^{(j')}$ olup

$$R^{(j')} = \begin{bmatrix} r_1^{(1,j)} & r_2^{(1,j)} & 0 & \dots & 0 \\ r_3^{(2,j)} & r_1^{(2,j)} & r_2^{(2,j)} & \ddots & \vdots \\ 0 & r_3^{(3,j)} & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & r_2^{(I-1,j)} \\ 0 & \dots & 0 & r_3^{(I,j)} & r_1^{(I,j)} \end{bmatrix}_{I \times I},$$

$$L^{(j')} = \begin{bmatrix} l_1^{(1,j)} & l_2^{(1,j)} & l_3^{(1,j)} & \dots & l_l^{(1,j)} \\ l_1^{(2,j)} & l_2^{(2,j)} & l_3^{(2,j)} & \ddots & \vdots \\ l_1^{(3,j)} & l_2^{(3,j)} & \ddots & \ddots & l_l^{(3,j)} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & l_l^{(I-1,j)} \\ l_1^{(I,j)} & \dots & l_{l-2}^{(I,j)} & l_{l-1}^{(I,j)} & l_l^{(I,j)} \end{bmatrix}_{I \times I}$$

şeklinde tanımlıdır.

Benzer bir gösterimle $S^{(j)} = S^{(j')} + L^{(j')}$ olup $S^{(j')}, L^{(j')}$ matrisleri aşağıdaki formda verilmiştir:

$$S^{(j')} = \begin{bmatrix} s_1^{(1,j)} & s_2^{(1,j)} & 0 & \dots & 0 \\ s_3^{(2,j)} & s_1^{(2,j)} & s_2^{(2,j)} & \ddots & \vdots \\ 0 & s_3^{(3,j)} & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & s_2^{(I-1,j)} \\ 0 & \dots & 0 & s_3^{(I,j)} & s_1^{(I,j)} \end{bmatrix}_{I \times I},$$

$$L^{(j')} = \begin{bmatrix} l_1^{(1,j)} & l_2^{(1,j)} & l_3^{(1,j)} & \dots & l_l^{(1,j)} \\ l_1^{(2,j)} & l_2^{(2,j)} & l_3^{(2,j)} & \ddots & \vdots \\ l_1^{(3,j)} & l_2^{(3,j)} & \ddots & \ddots & l_l^{(3,j)} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & l_l^{(I-1,j)} \\ l_1^{(I,j)} & \dots & l_{l-2}^{(I,j)} & l_{l-1}^{(I,j)} & l_l^{(I,j)} \end{bmatrix}_{I \times I}$$

Burada

$$\begin{aligned}
 p_1 &= -2k_1 - 2k_5, p_2 = -2k_2 + k_3 + k_5, p_3 = 2k_2 - k_3 + k_5, \\
 r_1 &= k_1 - 2k_6, r_2 = k_2 + k_4 + k_6, r_3 = -k_2 - k_4 + k_6, \\
 s_1 &= k_1 + 2k_6, s_2 = k_2 - k_4 - k_6, s_3 = -k_2 + k_4 - k_6, \\
 k_1 &= a_1 k_7, k_2 = a_2 k_7, k_3 = a_3 k_7, k_{(l-1)} = a_{(l-1)} k_7, k_l = a_l k_7, \\
 l_1 &= a_1 k_8, l_2 = a_2 k_8, l_3 = a_3 k_8, l_{(l-1)} = a_{(l-1)} k_8, l_l = a_l k_8, \\
 (l &= 1, \dots, N, J = 1, \dots, M), \\
 \mathcal{T} &= [\mathcal{F}_{1,1}, \mathcal{F}_{2,1}, \dots, \mathcal{F}_{l,1}, \mathcal{F}_{1,2}, \mathcal{F}_{2,2}, \dots, \mathcal{F}_{l,2}, \dots, \mathcal{F}_{1,J}, \mathcal{F}_{2,J}, \dots, \mathcal{F}_{l,J}]^T
 \end{aligned}$$

olarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak (13) matris denklemini çözülerek $I \times J$ adet bilinmeyenleri içeren

$$W = [w_{1,1}, w_{2,1}, \dots, w_{l,1}, w_{1,2}, w_{2,2}, \dots, w_{l,2}, \dots, w_{1,j}, w_{2,j}, \dots, w_{l,j}]^T$$

çözüm vektörü bulunur. Ayrıca (1) de merkezi fark formülleri ve Newton-Cotes formülü yazılarak elde edilen

$$v_j \frac{w_{i+1,j} - w_{i-1,j}}{2\Delta x} + f_{i,j} \frac{w_{i,j+1} - w_{i,j-1}}{2\Delta v} + \sum_{j=0}^m a_j K_{i,j,j} w_{i,j} = \tilde{\lambda}_{i,j} + \mathcal{F}_{i,j}$$

denkleminde $\tilde{\lambda}_{i,j}$ yaklaşık değerleri hesaplanır.

4. Sayısal Örnekler

Örnek 1 Bir $\Omega = \left(-\frac{4}{9}, \frac{4}{9}\right) \times \left(-\frac{2}{3}, \frac{2}{3}\right)$ bölgesinde $f(x, v) = -2x$, $K(x, v, s) = -(6+x)xs$ ve

$$F(x, v) = 3v^4x^2 + 6v^2x^4 - \frac{68v^2x^2}{27} + \frac{128vx^4}{3645} + \frac{256vx^3}{1215} - \frac{2048vx^2}{295245} - \frac{4096vx}{98415}$$

olmak üzere, (1) denklemini ve (2) sınır şartını sağlayan (u, λ) fonksiyonlar çiftinin bulunması problemi ele alalım. Bu problemin kesin çözümünün

$$u(x, v) = \left(x^2 - \frac{16}{81}\right)\left(v^2 - \frac{4}{9}\right)xs, \lambda(x, v) = -\frac{16v^4}{81} + \frac{64v^2}{729} - \frac{8x^4}{9} + \frac{128x^2}{729}$$

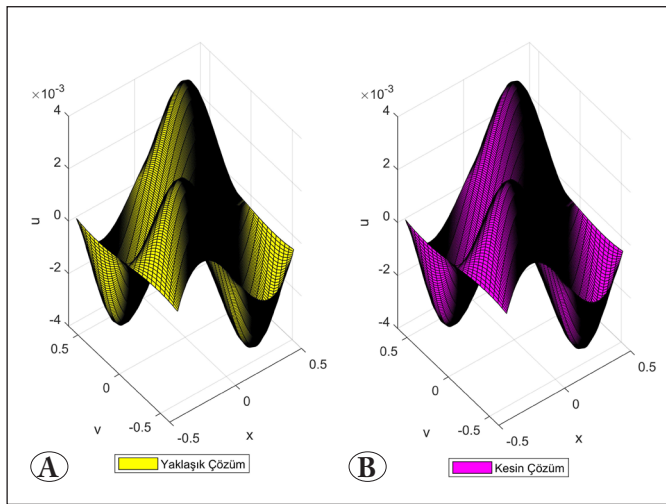
olduğu bilinmektedir.

Çizelge 1'de Örnek 1 için problemin yaklaşık çözümleri ve hesaplama süreleri verilmiştir:

Çizelge 1. Örnek 1'de $u(x, v)$ ve $\lambda(x, v)$ için sayısal sonuçlar

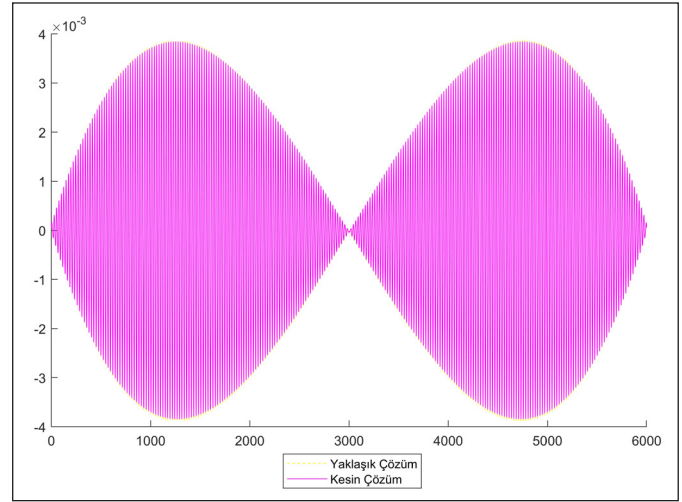
	$I = 36, J = 10$	$I = 250, J = 24$
Örgü Noktalarının Sayısı	360	6000
$u(x, v)$ için Maksimum Hata	2.0259E-04	4.2443E-05
$\lambda(x, v)$ için Maksimum Hata	1.7E-03	6.4713E-04
Hesaplama Süresi	372.706008s	16815.232110s

Şekil 1'de u için kesin ve elde edilen yaklaşık çözümler sunulmuştur.



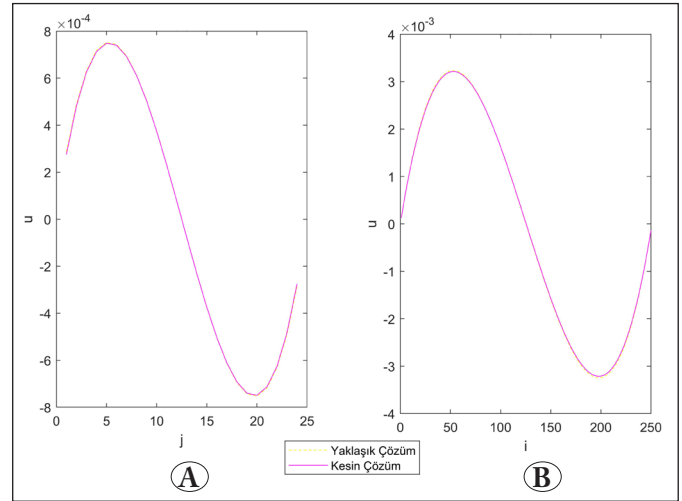
Şekil 1. Örnek 1'de u için (A) yaklaşık çözüm ve (B) kesin çözüm.

Şekil 2'de u için elde edilen sayısal sonuçlar 6000 adet örgü noktasında kesin değerlerle karşılaştırılmıştır:



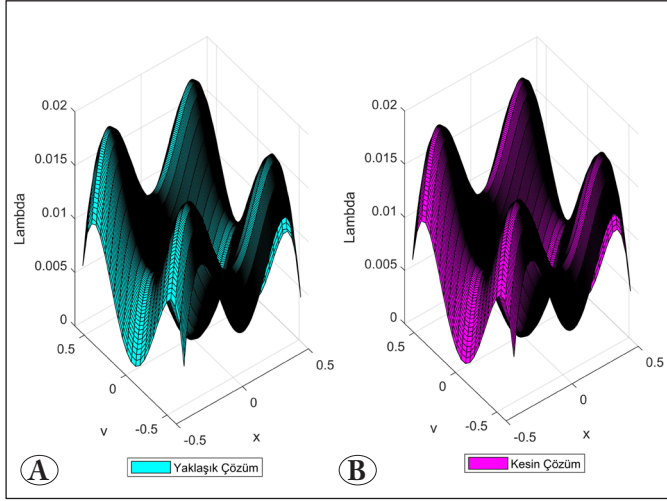
Şekil 2. Örnek 1'de elde edilen u nun çözüm vektörünün karşılaştırmalı grafiksel gösterimi.

Şekil 1'de verilen grafiklerin (A) $i=3$ ve (B) $j=2$ de karşılaştırmalı kesitsel gösterimleri aşağıda verilmiştir:



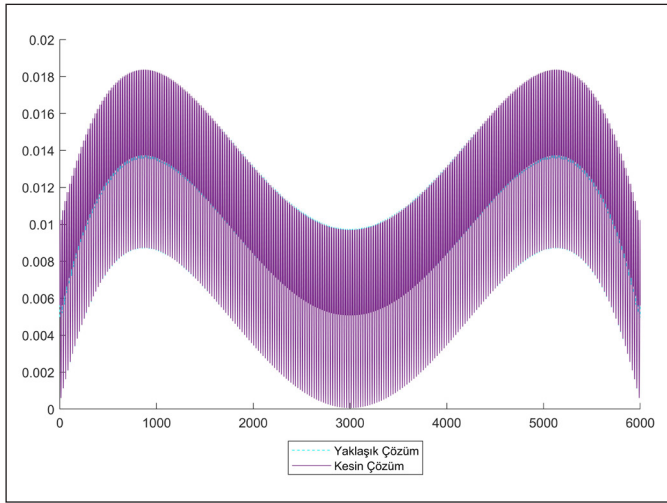
Şekil 3. Örnek 1'deki u için (A) $i=5$ ve (B) $j=3$ alınarak elde edilen kesitsel görünüm.

Şekil 4'te λ için yaklaşık ve kesin çözümler sunulmuştur.



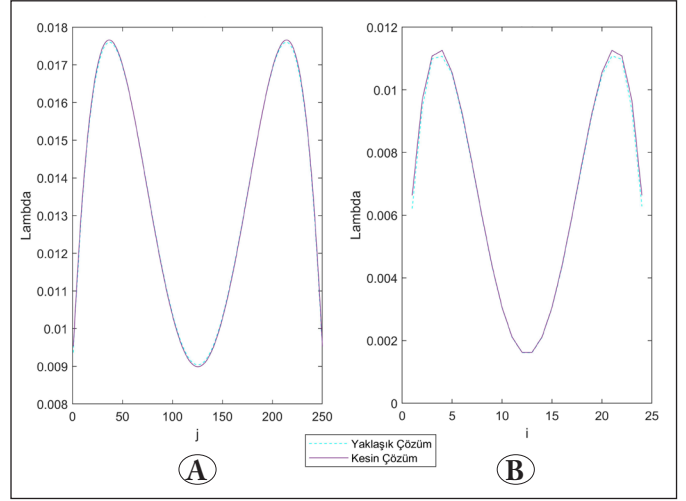
Şekil 4. Örnek 1'de elde edilen λ için (A) yaklaşık çözüm ve (B) kesin çözüm.

Şekil 5'te λ için elde edilen sayısal sonuçlar 6000 adet örgü noktasında kesin değerlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. Örnek 1'de elde edilen λ 'nın çözüm vektörünün karşılaştırmalı grafiksel gösterimi.

Şekil 4'te verilen grafiklerin (A) $i=5$ ve (B) $j=3$ için karşılaştırmalı kesitsel gösterimleri aşağıdadır:



Şekil 6. Örnek 1'de λ için (A) $i=5$ ve (B) $j=3$ alınarak elde edilen kesitsel görünüm.

Örnek 2 (1) denkleminde $f(x, v) = -1, K(x, v, s) = xvs$ ve

$$F(x, v) = \frac{144v^2}{x} + 90v^2x^2 - \frac{2304v^6}{x^3} - 20v^3x^2 - \frac{48v^4}{x^2} + \frac{8v^5}{x^2} + 147v^2e^x - 30v^3e^x + 5v^4e^x + \frac{9351vx}{10} - \frac{144v}{x} - \frac{8847vx^2}{20} - 522v^2 + \frac{243vx^3}{4} + 26v^3x + 60v^4x - 10v^5x - \frac{85668v^2e^{2x}}{25} - \frac{167904v^2e^{2x}x^2}{10x} - 258v^2xe^x - \frac{81vx^3e^x}{2} + 114v^3xe^x - 19v^4e^x + \frac{96v^2e^x}{x} - \frac{72v^2e^x}{x^2} + 60v^2x^2e^x - \frac{48v^3e^x}{x} + \frac{48v^3e^x}{x^2} - 30v^3x^2e^x + \frac{8v^4e^x}{x} + \frac{8v^4e^x}{x^2} + 5v^4x^2e^x$$

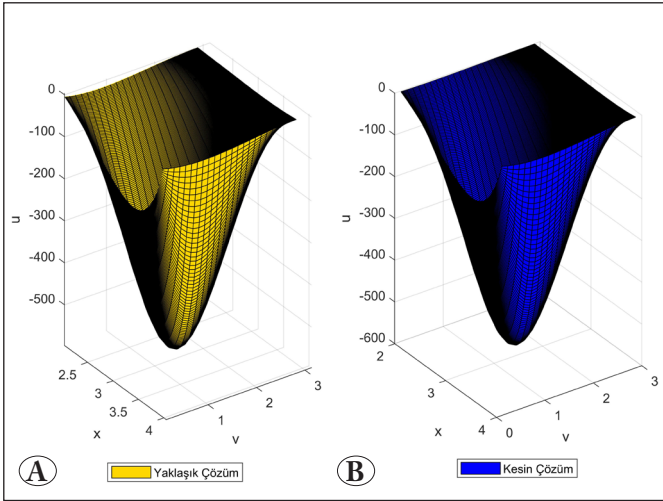
olmak üzere, $\Omega = (2, 4) \times (0, 3)$ bölgesinde tanımlı (u, λ) fonksiyonlar çiftinin bulunması problemi ele alalım. Bu problemin kesin çözümünün,

$$u(x, v) = (x^2 - 6x + 8) \left(\frac{1}{x+5} \right) (e^x - v)(v-3)^2v,$$

$$\lambda(x, v) = 29v^5 - 174v^4 + 125v^3 + 612v^2 - \frac{2574v}{5} + \left(306 + 45x^2 - 261x + \frac{72}{x} \right) e^x$$

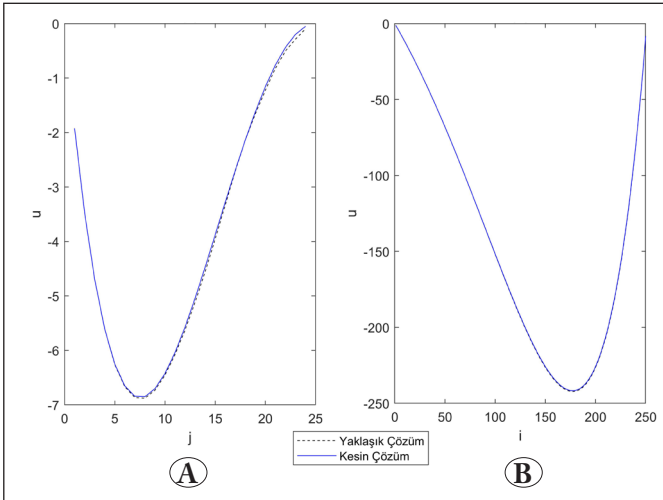
olduğu bilinmektedir.

Şekil 7'de u için kesin ve elde edilen yaklaşık çözümler sunulmuştur.



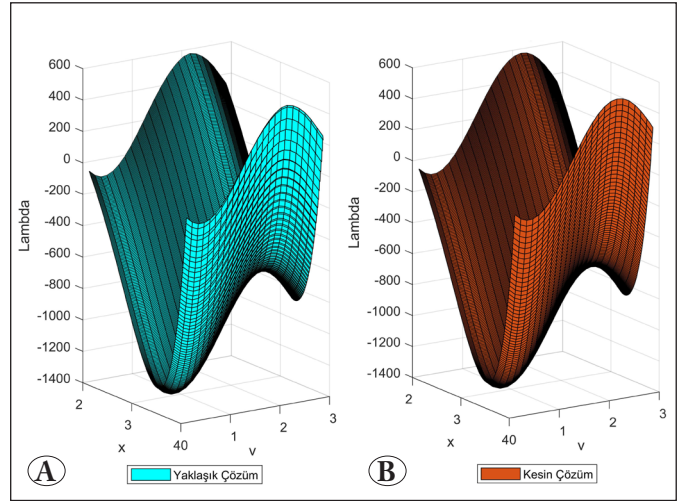
Şekil 7. Örnek 2'de elde edilen u için (A) yaklaşık çözüm ve (B) kesin çözüm.

Aşağıdaki grafikte (A) $i=3$ ve (B) $j=2$ alınarak u için karşılaştırmalı kesitsel gösterimler verilmiştir.



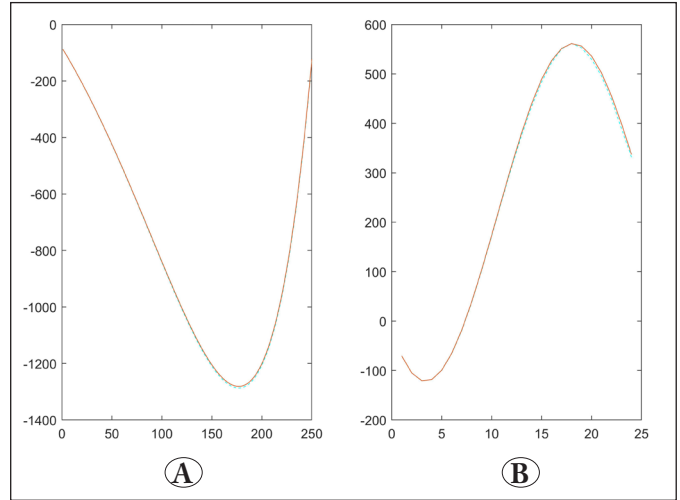
Şekil 8. Örnek 2'deki u için (A) $i=3$ ve (B) $j=2$ alınarak elde edilen kesitsel görünüm.

Şekil 9'da ele alınan problemin λ için kesin ve elde edilen yaklaşık çözümleri verilmiştir.



Şekil 9. Örnek 2'deki λ için (A) yaklaşık çözüm ve (B) kesin çözüm.

Şekil 10'da λ için (A) $i=3$ ve (B) $j=2$ alınarak elde edilen kesitsel gösterimler verilmiştir.



Şekil 10. Örnek 2'deki λ için (A) $i=3$ ve (B) $j=2$ alınarak elde edilen kesitsel görünüm.

5. Sonuç

Bu makalede, saçılım terimi içeren durağan bir kinetik denklem için bir ters problem ele alınmıştır. Bu problemin sayısal çözümünü elde etmek amacıyla sonlu fark yaklaşımı ve Newton-Cotes formüllerine dayalı bir metod sunulmuştur. Ek olarak, önerilen yöntem bazı model ters problemler üzerinde test edilmiş ve etkili sonuçlar alındığı görülmüştür.

6. Kaynaklar

- Adams, RA., Fournier, JF. 2003.** Sobolev Spaces, Elsevier, New York, 305 pp.
- Amirov, A. 2001.** Integral Geometry and Inverse Problems for Kinetic Equations, VSP, Utrecht, The Netherlands, 201 pp.
- Amirov, A., Gölgeleyen, F., Rahmanova, A. 2009.** An Inverse Problem for the General Kinetic Equation and a Numerical Method. *Comp. Model. Eng. Sci.*, 43 (2): 131-147, doi:10.3970/cmcs.2009.043.131.
- Amirov, A., Ustaoglu, Z., Heydarov, B. 2011.** Solvability of a Two Dimensional Coefficient Inverse Problem for Transport Equation and Numerical Method. *Transport Theory and Statistical Physics*, 40 (1): 1-22, <https://doi.org/10.1080/00411450.2010.529980>.
- Anikonov, YuE. 2001.** Inverse Problems for Kinetic and other Evolution Equations, VSP, Utrecht, The Netherlands, 270 pp.
- Blagoveshchenskii, AS. 2001.** Inverse Problems of Wave Processes, VSP, The Netherlands, 137 pp.
- Burden, RL., Faires, DJ. 2011.** Numerical Analysis, Ninth Edition, Brooks/Cole, 872 pp.
- Gölgeleyen, F. 2010.** On the Solvability of an Inverse Problem for the Kinetic Equation. *C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 31 (1):78-89.
- Gölgeleyen, I., Heydarov, B., Yıldız, M. 2010.** Approximate Solution of an Inverse Problem for a Non-Stationary General Kinetic Equation. *Comp. Model. Eng. Sci.*, 62 (3): 255-264, doi:10.3970/cmcs.2010.062.255.
- Gölgeleyen, I. 2013.** An Inverse Problem for a Generalized Transport Equation in Polar Coordinates and Numerical Applications. *Inverse problems*, 29 (9): 095006, <https://doi.org/10.1088/0266-5611/29/9/095006>.
- Groetsch, CW. 1993.** Inverse Problems in the Mathematical Sciences, Braunschweig, Vieweg, 152 pp.
- Mikhailov, VP. 1978.** Partial Differential Equations, Mir Publishers, Moscow, 396 pp.
- Vladimirov, VS. 1971.** Equations of Mathematical Physics, MIR, Moscow, 436 pp.



Similarity Matching of XML Schema

XML Şemalarda Benzerlik Eşleştirme

Ayşe Salman* 

Maltepe University, Faculty of Engineering, Computer Engineering, Maltepe, Istanbul, Turkey

Abstract

XML Schema similarity matching problem is a key task in numerous applications, particularly to support data exchange and integration. Solving such match problem has found considerable interest among researchers and several matching approaches have been proposed. However, to achieve the best match, and because the problem is hard several approaches must be combined. This paper describes a system that can find accurate matches by combining matching on two levels. First finding the best mapping between the schema elements by comparing their internal properties, then comparing elements similarity based on their context inside the schema.

Keywords: Context similarity, Internal similarity, Schema matching, Similarity measure, XML Schema

Öz

XML şemalarının benzeşim problemi bir çok uygulamada ortaya çıkmakta olan önemli bir husustur. Özellikle de veri alışverişi ve entegrasyonu söz konusu olduğunda kilit rol oynamaktadır. Bu gibi durumlarda, benzeşim eşleştirme çözümleri bulmak, araştırmacıların ilgisini çeken bir konu olmuş ve buna istinaden bir takım eşleştirme önerileri ortaya çıkmıştır. Fakat en başarılı eşleştirme tespitinin tek başına uygulanması yerine, genel olarak problemin karmaşıklığından dolayı birden fazla yöntemin beraber uygulanması gereklidir. Bu makale iki farklı aşamada benzeşimleri birleştirerek, doğru eşleştirmeler yapabilen bir sistemi tariflemiştir. Bu aşamalardan ilki, şemanın elemanlarını, yapıları bakımından kendi aralarında karşılaştırarak gruplamak, diğeri ise elemanları şemanın genel bağlamı doğrultusunda değerlendirmek şeklindedir.

Anahtar Kelimeler: İç benzeşim, Bağlamsal benzeşim, Şema eşleştirme, Benzeşim ölçeği, XML şema

1. Introduction

Extensible Markup Language, W3C XML, is now considered as the de facto standard for representing and exchanging data on the Internet (Yergeau et al., 2004). XML documents are created to follow certain structure rules defined through XML Schema Definition (XSD) or XML Document Type Definition (DTD). Similarity between XML documents can thus be conducted effectively using their relevant structure definition whether XSD or DTD (Bex et al. 2004).

XSD, or XML Schema, is widely used to describe XML documents than DTD because of its advantages. XML Schema is itself an XML document that uses XML syntax and is also more expressive than DTD. It has a rich type system and uses namespaces to support for schemas

distribution (Bex et al. 2004, Lee et al. 2001). XML Schema has generally replaced XML DTD and became the standard used to define the structure of the XML data. This current work thus deals only with XML Schemas. However, data described using XML Schemas bring a challenging issue when integrating and exchanging such data. One of the main problems is how to assess the similarity of XML Schema documents and find metrics for measuring the resemblance between them (Thuy et al. 2012, Wu and Palmer 1994, Do and Rahm 2002, Lee et al. 2002, Tekli et al. 2007-2009, Algergawy et al. 2010, Nierman and Jagadish 2002).

In this work, we measure the similarity of XML schemas by combining schema elements similarity irrelevant of their context with their context similarity. The similarity measure is normalized to be constrained to the interval [0,1]. Similarity can be seen as the numerical distance between data objects with 0 means not similar at all (i.e. has nothing in common) and 1 means completely similar (i.e. logically identical).

*Corresponding author: ayse.salman@maltepe.edu.tr

1.1. Similarity Measurement

XML Schema represents hierarchically structured information and thus is generally modelled as an Ordered Labelled Trees (OLT) (Yergeau et al. 2004). Each node in the tree represents either an XML element labelled with corresponding element tag name or an element attribute labelled with corresponding attribute name. XML Schema elements are either atomic or complex. Atomic element is either simple element or attribute and is thus represented in the tree by single leaf node. Complex element on the other hand is represented by an internal node in the tree. Attribute nodes appear as children of their encompassing element nodes. A single item that is the basis of the similarity measure in the XML schema tree may be an element node or an attribute node. Example of the XML Schema is shown in Figure 1 that is encoded as tree graph in Figure 2, where the nodes of the tree represent schema elements and attributes.

Our similarity process is done in two phases (Thuy et al. 2012, Tekli et al. 2007, Algergawy et al. 2010). In the first phase we compute the similarity coefficients of nodes exploiting the main properties of elements irrespective of the context. We base this on three properties linguistics (names of Schema elements), on datatypes (uses data types properties), and on cardinalities (elements cardinality). This can be called element internal matching (Algergawy et al. 2010). In the second phase we compute the similarity coefficients of schema elements based on the similarity of their contexts i.e. positions in the tree structure. This can be called element context matching.

2. Tools and Methods

Similarity matching themes exploit the attributes being possessed by the target object being matched. Essentially there are 3 components under which available matching approaches are grouped; element internal similarity matching, context similarity matching and schema similarity matching. In this chapter, the different kinds of similarity matching procedures that fall under the aforementioned groups will be discussed.

2.1. Linguistic or Name Similarity

The earliest methods used in this field takes the linguistic or name similarity of each pair of element based on their syntactic and semantic relationships. Syntactic similarity can be done by comparing the character strings representing the names, and semantic similarity by comparing their

meanings. In order to compare between two names, we should first prepare their two strings for the process of comparison by a tokenization algorithm (Ramasubramanian and Ramya 2013). Tokenization is the process of separating the string into a sequence of character units that are useful for processing called tokens by using delimiters such as punctuation and upper case. Some characters might have

```
<?xml version="1.0"?>
<xsd:schema
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
<xsd:element name="Books">
<xsd:complexType> <xsd:sequence>
<xsd:element name="Book" maxOccurs="unbounded">
<xsd:complexType> <xsd:sequence>
<xsd:element name="Name">
<xsd:complexType> <xsd:sequence>
<xsd:element name="Title" type="xsd:string"/>
<xsd:element name="Author" type="xsd:string"/>
<xsd:element name="Edition" type="xsd:string"/>
</xsd:sequence> </xsd:complexType>
</xsd:element>
<xsd:element name="Publisher">
<xsd:complexType> <xsd:sequence>
<xsd:element name="PubName" type="xsd:string"/>
<xsd:element name="ISBN" type="xsd:unsignedInt"/>
</xsd:sequence> </xsd:complexType>
</xsd:element>
</xsd:sequence>
<xsd:attribute name="BookID" type="xsd:string" use="required"/>
</xsd:complexType>
</xsd:element>
</xsd:sequence> </xsd:complexType>
</xsd:element>
</xsd:schema>
```

Figure 1. Example of XML schema for books.

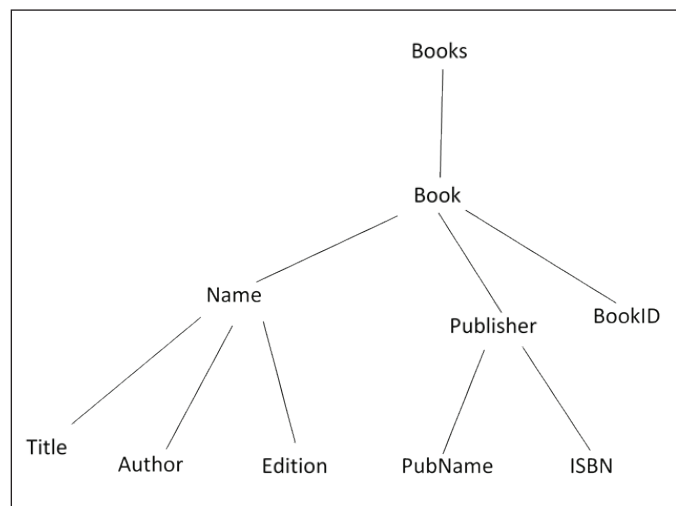


Figure 2. Tree structure for XML schema for books.

to be ignored e.g. some punctuation marks, and some units might have to be expanded to their full text form such as abbreviations (e.g. Pub for Publisher) and acronyms. Once tokenization is done linguistic similarity is measured as follows.

1. The syntactic relationship can be measured by using a string edit distance, the most commonly used is the Levenshtein distance (Rice et al. 1997). In this method, the similarity value of two strings is measured as the optimal (i.e. minimal) cost of transforming one string to another through a sequence of three edit single character operations: deletion, insertion, and substitution with each edit operation has a unit cost. Thus, the normalized syntax similarity measure *SynSim* is given by

$$SynSim(e_1, e_2) = 1 - \frac{EDist(e_1, e_2)}{\max(|e_1|, |e_2|)} \quad (1)$$

Where $EDist(e_1, e_2)$ is the edit distance algorithm for the two element name strings e_1 and e_2 .

2. To measure the semantic similarity between two names e_1 and e_2 we measure the similarity between their two sets of tokens T_1 and T_2 by using knowledge resource (e.g. thesaurus) such as WordNet thesaurus. The lexical database WordNet organizes nouns and verbs (of English) into a taxonomy of is-a relations. One natural way to compare between two words for similarity is to base it on the distance i.e. length of the path between them in the is-a taxonomy. The shorter the path from one node to the other, the more similar they are. Several WordNet-based similarity measures were based on path lengths represented by the number of edges between concepts or names (Wu and Palmer 1994) and the works in (Leacock and Chodorow 1998, Resnik 1995). Wu and Palmer's proposed a measure of the semantic similarity between two concepts based on their depths in the taxonomy and that of their least common super-concept that subsumes them both called the Least Common Subsumer (LCS). These properties are combined into a similarity measure using the Wu and Palmer's equation (3) below and also illustrated in Figure 3.

$$\begin{aligned} TokSim(n_1, n_2) &= \frac{2 \times depth(LCS)}{depth(n_1) + depth(n_2)} \\ &= \frac{2 \times L_0}{L_1 + L_2 + 2 \times L_0} \end{aligned} \quad (2)$$

where L_1 and L_2 are the numbers of is-a edges from tokens n_1 and n_2 to their LCS n_0 , and L_0 is the number of is-a edges from n_0 to the root of the hierarchy.

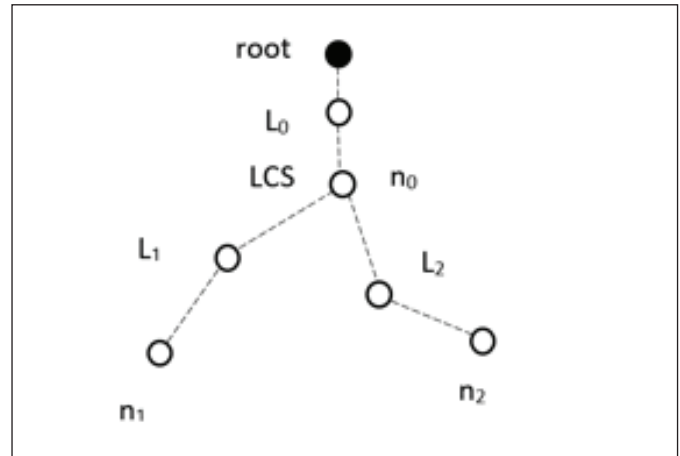


Figure 3. The hierarchy structure for semantic similarity measure

The semantic name similarity of two elements e_1 and e_2 is measured by the semantic similarity of their two sets of tokens T_1 and T_2 . This is measured as the average of the best similarity of each token in one set with a token in the other set. It is calculated from (Algergawy et al. 2010, Niwattanakul et al. 2013) as follows:

$$\begin{aligned} SemSim(e_1, e_2) &= \frac{\sum_{t_1 \in T_1} [\max_{t_2 \in T_2} TokSim(t_1, t_2)] + \sum_{t_2 \in T_2} [\max_{t_1 \in T_1} TokSim(t_1, t_2)]}{|T_1| + |T_2|} \end{aligned} \quad (3)$$

Name similarity *NaSim* is basically measured by semantic matching between two elements. To combine semantic and syntactic similarity values the semantic matching is first applied. If semantic similarity is below certain predefined *threshold*, syntactic matching is then applied and similarity is taken as the average of semantic *SemSim* and syntax *SynSim* similarity measures.

2.2. Data Type Similarity

XSD has a rich type system and any element has a type. Hence for effective schema matching, in addition to the similarity of element names the similarity of their datatypes must be measured. Using type information is then the key factor for schema matching and for estimating the degree of similarity between different types (Thuy et al. 2012, Ye et al. 2011). Datatypes in XML form a hierarchy defined by WC3 (Yergeau et al. 2004). An element datatype has one of two main properties, that is either simple or complex. There are 43 built-in simple types (e.g. string, integer), which can be used for element and attribute declarations. Complex types on the other hand are user-defined and can be used for element declarations, they can have elements in

their content and may carry attributes. In addition, there is a set of 12 constraining facets (e.g. length, minLength, maxLength) used to define the valid values for a simple datatype. Associated with each simple datatype is its own subset of facets from that set.

The two most reliable approaches used to establish data type similarity are either based on constraining facets (Algergawy et al. 2010), or the datatypes hierarchy (Dongo et al. 2017, Niwattanakul et al. 2013). However, we should notice that simple datatypes are used to describe leaf element nodes and attribute values of complex datatypes. But there is no link of simple datatype to complex datatype they are of two different categories. Even if two elements have high similarity names (or even identical) but one simple and the other complex the meaning and usage are different. Also, as a complex element contains children, to measure the similarity between two complex elements, we have to measure the similarity of their children which eventually leads to attribute elements. Hence if the two elements are such that at least one is of complex type, their datatype similarity can simply be taken to be 0. To evaluate the similarity between built-in simple types and user-defined simple types the two methods used are:

- Method 1: we can base this on the facets of each datatype. The similarity value between two different datatypes is based on the number of their common facets; the more common facets the more similar they are. Hence the similarity measure between two datatypes nodes d_1 and d_2 can be calculated by their number of common facets divided by their total facets using Jaccard similarity coefficient (Niwattanakul et al. 2013):

$$DaSim(d_1, d_2) = \frac{|D_1 \cap D_2|}{|D_1 \cup D_2|} \quad (4)$$

Where D_1 and D_2 are the facet sets of elements e_1 and e_2 datatypes respectively

- Method 2: or to base it on datatype hierarchy, usually by using an extension to the one defined by WC3 and that still preserves the relationships between datatypes, as shown by the works in (Hong-Minh and Smith 2007, 29. Dongo et al. 2017). The work in (Hong-Minh and Smith 2007) for example uses the extension shown in Figure 4. The authors propose five new datatype groups: Calendar, Text, Logic, Numeric, and Other. With this hierarchy the datatype similarity measure of two nodes is based on the distance separating them and also their depth. Obviously, datatypes similarity increases as the distance between them decreases. On the other hand, as

we go deeper in the hierarchy the differences between datatypes becomes less significant. Hence datatypes similarity also increases as the depth in the hierarchy increases. The similarity measure between two datatypes nodes d_1 and d_2 as shown by the authors in (Hong-Minh and Smith 2007) is given by the following equation:

$$aSim(d_1, d_2) = \begin{cases} e^{-\beta l} \times \frac{e^{\alpha h} - e^{-\alpha h}}{e^{\alpha h} + e^{-\alpha h}}, & d_1 \neq d_2 \\ 1, & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

Where l is the shortest path length between d_1 and d_2 ; h is the depth of the Least Common Subsumer (LCS) datatype which subsumes datatypes d_1 and d_2 ; and α and β are user-defined parameters.

Table 1 presents the datatype similarity results of some attribute types in the XML Schema using the two methods. As expected, we can see that integer and decimal or int and short have more similarity than with integer and string. The user-defined parameters α and β in equation (5) are taken as $\alpha = \beta = 0.3057$ from the work in (Hong-Minh and Smith 2007).

2.3. Cardinality Constraint Similarity

The other key information of an element is its cardinality constraints: *minOccurs* and *maxOccurs*. Their values define the minimum and maximum number of times an element occurs in XML instances. The average of the differences between the minimum number of occurrences and maximum number of occurrences can be taken to measure the similarity of cardinality constraints of two elements as suggested by (Thuy et al. 2012) and this is shown by equation (6):

$$CaSim(e_1, e_2) = \frac{(1 - E_{\min}) + (1 - E_{\max})}{2} \quad (6)$$

where,

$$E_{\max} = \frac{|e_1.\max - e_2.\max|}{e_1.\max + e_2.\max}$$

Table 1. Datatype compatibility table for attribute types in the two methods.

Datatype	Datatype	Similarity Method 1	Similarity Method 2
integer	decimal	0.89	0.62
integer	string	0.25	0.06
date	dateTime	1.0	0.30
boolean	string	0.33	0.09
int	short	1.0	0.70

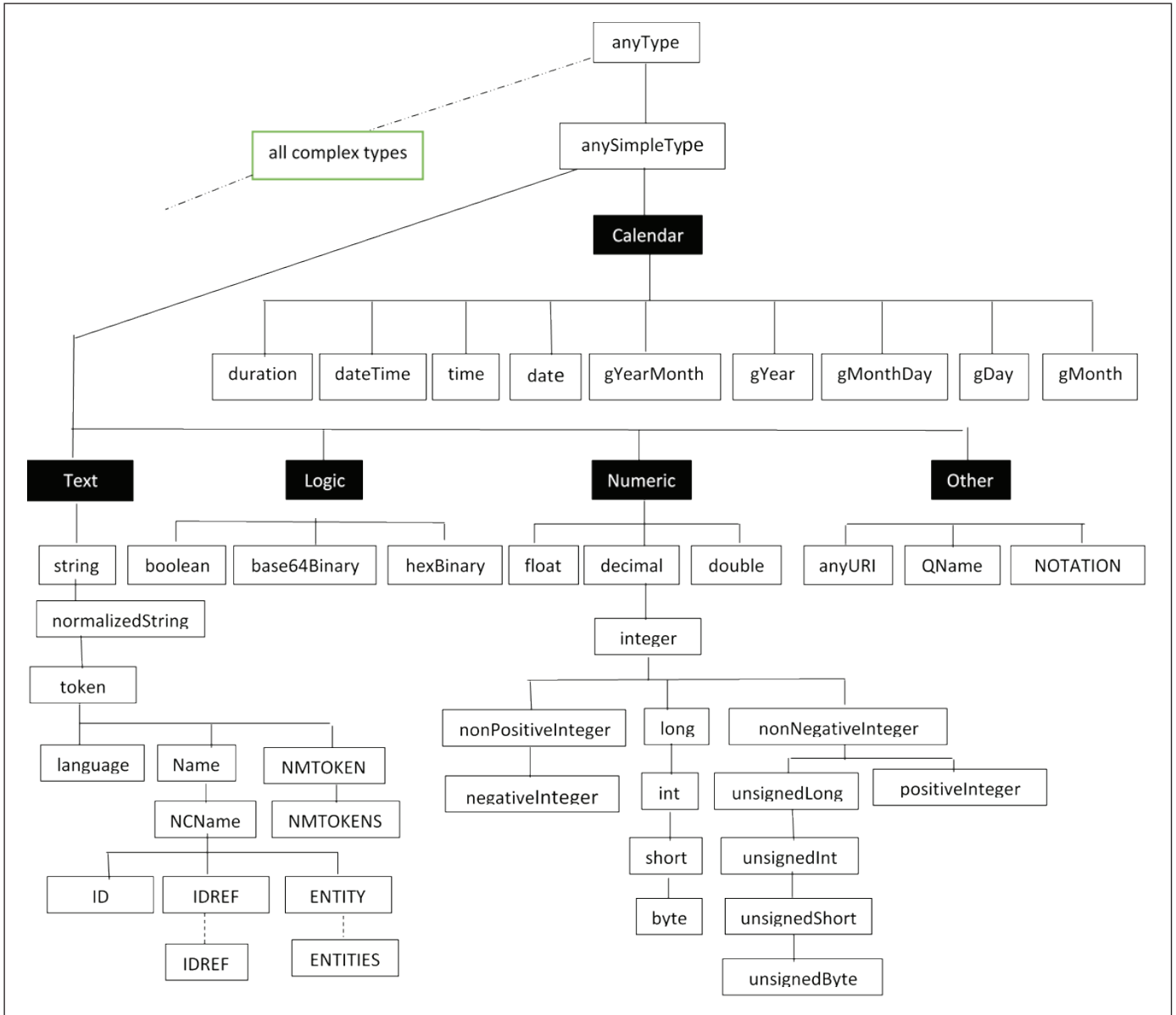


Figure 4. WC3 datatypes hierarchy with extensions from Hong-Minh and Smith 2007.

and

$$E_{\min} = \begin{cases} \frac{|e_1.\min - e_2.\min|}{e_1.\min + e_2.\min} \\ 0, e_1.\min = e_2.\min = 0 \end{cases}$$

where $CaSim(e_1, e_2)$ denotes the cardinality constraint similarity between two elements e_1 and e_2 and \min and \max represent \minOccurs and \maxOccurs of an element, respectively. Obviously, the similarity measure is high if the two elements cardinalities are closer. Usually, \minOccurs is assigned 0 or 1, but \maxOccurs can be any number ≥ 1 or assigned "unbounded", meaning the element can occur any

number of times without specific limit. The default values for both is 1.

If the value of \maxOccurs is not specific number i.e. $\maxOccurs = \text{"unbounded"}$, its value is undetermined in XML Schemas. If the two matching elements' \maxOccurs is unbounded, we can take their \maxOccurs cardinality as equal i.e. $e_1.\max = e_2.\max$ and $E_{\max} = 0$. If only one element's \maxOccurs is unbounded a value can be chosen as representative and used to calculate E_{\max} . One way to achieve this is to survey the dataset (XSD and XML instances) for the particular application considered, as suggested for example in (Thuy

Table 2. Cardinality constraint compatibility table

	minOccurs = 0, maxOccurs = 1	minOccurs = 0, maxOccurs = unbd	minOccurs = 1, maxOccurs = 1	minOccurs = 1, maxOccurs = unbd
minOccurs = 0, maxOccurs = 1	1.00	0.59	0.50	0.09
minOccurs = 0, maxOccurs = unbd	0.59	1.00	0.09	0.50
minOccurs = 1, maxOccurs = 1	0.50	0.09	1.00	0.59
minOccurs = 1, maxOccurs = unbd	0.09	0.50	0.59	1.00

unbd = "unbounded"; "unbounded" is taken as 10.

et al. 2012), and a value is assigned as a result. However, any approximation in such process is going to affect only E_{max} which contributes to half of the value of the coefficient $CaSim$. The cardinality constraint similarity illustrated in Table 2 represents the most common values of $minOccurs$ and $maxOccurs$.

Internal Similarity of two elements e_1 and e_2 is a combination function of name similarity ($NaSim$), data type similarity ($DaSim$), and constraint similarity ($CaSim$) (Thuy et al. 2012, Algergawy et al. 2010). For simplicity we consider linear combination function and internal similarity coefficient is given as the weighted average of the above three similarity coefficients of two elements as follows:

$$IntSim(e_1, e_2) = a \times NaSim(e_1, e_2) + b \times DaSim(e_1, e_2) + c \times CaSim(e_1, e_2) \quad (7)$$

where; $a + b + c = 1$

The value given to a certain weight determines the importance of the measure in determining the node similarity. However different values could be determined by the set of data under consideration. Usually a is given the highest value which reflects the importance of name similarity in deciding the value of element internal similarity coefficient.

2.4. Element Context Similarity Matching

Context similarity matches the schema elements based on the similarity of their XML Schema trees structure. Classical *tree edit distance* measures similarity by the minimal cost of editing operations that transform one tree into the other one (Zhang K. and Shasha 1997). This similarity measuring approach focus on the structural and geometrical characteristics of the trees and does not consider the conceptual semantics of the tree nodes (Allali and Sagot 2004, Guda et al. 2002). Measuring similarity of XML Schema trees requires a more comprehensive method which matches the schema nodes *context*, i.e. its position, in the XML Schema tree. The notion of *context similarity* has been

used in many works such as in XClust, Cupid and Similarity Flooding (Lee et al. 2002, Madhavan et al. 2001, Melnik et al. 2002). The *context* of a node in a tree is naturally realized by its ancestors to the root, its descendants to the leaves and its siblings. Hence the context of an element node can be defined by the following four components (Lee et al. 2002, Algergawy et al. 2010, Madhavan et al. 2001) Figure 5:

The ancestor: this is defined by the path from the root node to the element node.

The descendant: this is defined by set of immediate children nodes.

The leaf: this is defined by the set of leaves of the subtrees rooted at the element node. This can also be described by the set of paths from the element node to its leaves. Leaves in XML Schema tree represent the element data content.

The sibling: this is defined by the set of nodes sharing the same immediate ancestor of the element node.

In a schema matching system, the context of a node is thus defined as a combination of the four contexts (Tekli et al. 2007-2009, Nierman and Jagadish 2002). In the following we present some of the commonly used methods for calculating context similarity between elements.

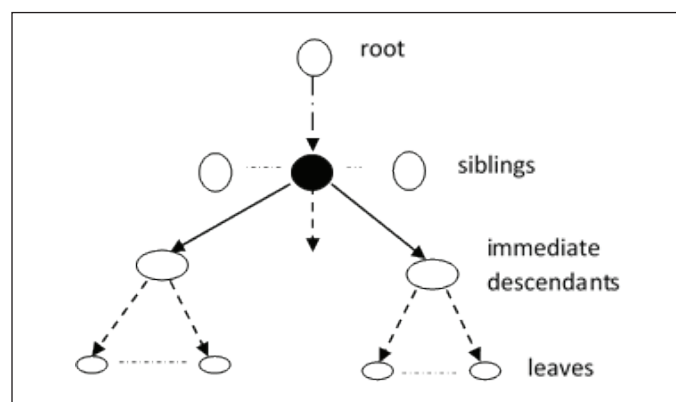


Figure 5. The context of an element.

2.5. Ancestor Context Similarity

The ancestor context for a given element e is the path, i.e. sequence of nodes, extending from the root to node e . To compare between paths, we can use edit distance algorithm as the measure proposed in (Choi et al. 2007). Here the string, the basis for comparison in the algorithm, is the sequence of strings representing element names on each path. The path similarity $ACPSim(e_p, e_2)$, can thus be computed as follows:

$$AnCPSim(e_1, e_2) = 1 - \frac{EDist(P_1, P_2)}{\max(|P_1|, |P_2|)} \quad (8)$$

Where P_1 and P_2 are the ancestor context paths for e_1 and e_2 respectively, $EDist(P_1, P_2)$ is the edit distance operation and $|P_1|$ and $|P_2|$ are the paths lengths as defined by the sequence of element name strings. If P_1 and P_2 are completely similar $EDist$ will return 0 and $AnCPSim$ will be 1. If P_1 and P_2 have nothing in common in their paths, $EDist$ will be equal to $\max(|P_1|, |P_2|)$ and $AnCPSim$ will be 0.

2.6. Descendant Context Similarity

Let e_1 and e_2 be the two elements to measure their descendant context similarity, and let their immediate children sets be $\{e_{11}, e_{12}, \dots, e_{1K}\}$ and $\{e_{21}, e_{22}, \dots, e_{2L}\}$ respectively. For each element in one set we find the maximum similarity value in matching with all elements in the other one. We can calculate the descendant context similarity, $DCSim(e_p, e_2)$ of two elements by taking the average of the maximum similarity values of all element pairs in the two sets (Do and Rahm 2002, Algergawy et al. 2010) as in the following equation:

$$LeCSim(e_1, e_2) = \frac{\sum_{i=1}^K \left[\max_{j=1}^M IntSim(e_{1i}, e_{2j}) \right]}{\max(K, M)} \quad (9)$$

Where K and L are the number of elements of the sets of immediate children of e_1 and e_2 respectively.

2.7. Leaf Context Similarity

For the leaf context similarity of two elements the two most commonly used methods are discussed below.

- We consider the two set of leaf nodes of the two elements e_1 and e_2 . For each element we first define the set of leaf nodes of subtree rooted at that element; $L_i(e_1) = \{e_{11}, e_{12}, \dots, e_{1K}\}$ and $\{e_{21}, e_{22}, \dots, e_{2M}\}$. The internal similarity between each pair of leaves in the two sets is determined, and the matching pairs with maximum similarity values

are selected. Hence, the leaf context similarity measure is computed by using equation similar to equation (9):

$$LeCSim(e_1, e_2) = \frac{\sum_{i=1}^K \left[\max_{j=1}^M IntSim(e_{1i}, e_{2j}) \right]}{\max(K, M)} \quad (10)$$

- Another way is to measure the leaf context of a node by the set of paths from the node to leaves in the subtree rooted at the node as suggested by the authors of (Lee et al. 2002, Choi et al. 2007). The leaf context similarity of two elements is then computed by averaging edit distances of the two nodes sets of paths as shown below in the same way as equation (8).

$$LeCSim(e_1, e_2) = \frac{\sum_{i=1}^{|P_1|} \left[\max_{j=1}^{|P_2|} EDist(P_{1i}, P_{2j}) \right]}{\max(|P_1|, |P_2|)} \quad (11)$$

where P_1 and P_2 are here the two sets of paths for e_1 and e_2 respectively, and $EDist(P_{1i}, P_{2j})$ is the edit distance operation for two element paths, and $|P_1|$ and $|P_2|$ are the number of paths in each set.

2.8. Sibling Context Similarity

In similar way to the descendant context and leaf context, to compute the sibling context similarity between two elements, we compare their sibling context sets. $S_1(e_1) = \{e_{11}, e_{12}, \dots, e_{1K}\}$ and $S_2(e_2) = \{e_{21}, e_{22}, \dots, e_{2M}\}$ for elements e_1 and e_2 . The internal similarity between each pair of siblings in the two sets is determined, and the matching pairs with maximum similarity values are selected. Finally, the average of best similarity values is computed. The sibling context similarity, $SiCSim(e_p, e_2)$, can be computed similar to descendant and leaf contexts above (equations (9), (10)) as follows

$$SiCSim(e_1, e_2) = \frac{\sum_{i=1}^K \left[\max_{j=1}^N IntSim(e_{1i}, e_{2j}) \right]}{\max(K, N)} \quad (12)$$

The context similarity of two elements e_1 and e_2 is the combination of the above four similarity measures: $AnCPSim$ (ancestor context), $DeCSim$ (descendant context), $SiCSim$ (sibling context) and $LeCSim$ (leaf context). We consider such combination to be linear for simplicity.

$$ConSim(e_1, e_2) = a \times AnCPSim(e_1, e_2) + b \times DeCSim(e_1, e_2) + c \times SiCSim(e_1, e_2) + d \times LeCSim(e_1, e_2) \quad (13)$$

where, $a + b + c + d = 1$

2.9. XML Schema Similarity Measurement

Once the internal and context similarity values of two elements e_1 and e_2 in two XML Schema trees is calculated, a total element similarity value $Sim(e_1, e_2)$ can be determined using a weighted sum of these two components by the following equation:

$$Sim(e_1, e_2) = \omega \times IntSim(e_1, e_2) + (1 - \omega) \times ConSim(e_1, e_2) \quad (14)$$

Where $0 < \omega \leq 1$. A reasonable value for ω is 0.5 which means equal weight for both internal and context similarity of the two elements.

When we have the element similarity of all element pairs in two schemas, we can then compute the similarity match of the two XML schemas $ScheSim$ by the following equation (Nayak and Tran 2007):

$$ScheSim(T_1, T_2) = \frac{\sum_{i=1}^{i=|T_1|} \left[\max_{j=i}^{|T_2|} Sim(e_{1i}, e_{2j}) \right]}{\max(|T_1|, |T_2|)} \quad (15)$$

Where T_1 and T_2 are the two XML trees and their similarity is taken as the average of the sum of the best node similarity values Sim with respect to the maximum number of nodes $|T_1|$ and $|T_2|$ in the two trees.

3. Conclusions

In this paper, we have presented an overview of the existing research related to XML element similarity measures. The paper proposed a combination of schema matching techniques in order to produce best matching results. The matching method relies on both internal and context matchings of the elements of the XML schema. The overall similarity of XML schemas is measured by linearly combining the total similarity of the corresponding individual elements.

4. References

- Algergawy, A., Nayak, R., Saake, G. 2010.** Element similarity measures in XML Schema Matching. *Inf Sci*, 180(4): 4975–4998. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.08.022>
- Allali, J., Sagot, M. 2004.** Novel Tree Edit Operations for RNA Secondary Structure Comparison. *Workshop on Algorithms in Bioinformatics 2004*, 412–425. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30219-3_35
- Bex, G. J., Neven, F., Bussche, J. 2004.** DTDs versus XML Schema: A Practical Study. *WebDB 2004*, 79–84. <https://doi.org/10.1145/1017074.1017095>
- Choi, I., Moon, B., Kim, H. 2007.** A clustering method based on path similarities of XML data. *Data & Knowledge Engineering*, 60(2): 361–376. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2006.02.004>
- Do, H., Rahm, E. 2002.** COMA—A system for flexible combination of schema matching approaches. *VLDB*, 28: 610–621. <https://doi.org/10.1016/B978-155860869-6/50060-3>
- Dongo, I., Al Khalil, F., Chbeir, R., Cardinale, Y. 2017.** Semantic Web Datatype Similarity: Towards Better RDF Document Matching. *International Conference on Database and Expert Systems DEXA*, 28: 189–205. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64468-4_15
- Guha, S., Jagadish, H. V., Koudas, N., Srivastava, D., Yu, T. 2002.** Approximate XML Joins. *ACM SIGMOD 2002*, 287–298. <https://doi.org/10.1145/564691.564725>
- Hall, P., Dowling, G. 1980.** Approximate String Matching. *Computing Survey*, 12(4): 381–402. <https://doi.org/10.1145/356827.356830>
- Hong-Minh, T., Smith, D. 2007.** Hierarchical approach for datatype matching in XML schemas. *British National Conference on Databases*, 24(1): 120–129. <https://doi.org/10.1109/BNCOD.2007.10>
- Kasim, S., Omar, N., Akbar, N., Hassan, R., Murad, M. 2017.** X-Similarity Comparison by Using WordNet. *JOIV*, 1(4–2): 188–191. <http://dx.doi.org/10.30630/joiv.1.4-2.79>
- Leacock, C., Chodorow, M. 1998.** Combining local context and WordNet similarity for word sense identification. *In: WordNet*, pp. 265–283. <https://doi.org/10.7551/mitpress/7287.003.0018>
- Lee, M. L., Yang, L. H., Yang, X. 2002.** XCLust: Clustering XML Schemas for Effective Integration. *CIKM*, 292–299. <https://doi.org/10.1145/584792.584841>
- Lee, J. W., Lee, K., Kim, W. 2001.** Preparations for Semantics-Based XML Mining. *ICDM*, 01: 345–352. <https://doi.org/10.1109/ICDM.2001.989538>
- Madhavan, J., Bernstein, P.A., Rahm, E. 2001.** Generic schema matching with Cupid. *VLDB*, 27: pp. 49–58.
- Melnik, S., Garcia-Molina, H., Rahm, E. 2002.** Similarity Flooding: a versatile graph matching algorithm and its application to schema matching. *ICDE*, 18: 117–128. 352 <https://doi.org/10.1109/ICDE.2002.994702>
- Nayak, R., Tran, T. 2007.** A progressive clustering algorithm to group the XML data by structural and semantic similarity. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 21(4): 723–743. <https://doi.org/10.1142/S0218001407005648>
- Nierman, A., Jagadish, H. V. 2002.** Evaluating structural similarity in XML documents. *WebDB*, 5: 61–66. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77018-3_31

- Niwattanakul, S., Singthongchai J., Naenudorn, E., Wanapu, S. 2013.** Using of Jaccard Coefficient for Keywords Similarity. *IMECS*, 01: 380-384. <https://doi.org/10.1051/epjconf/20146800004>
- Princeton University**, WordNet A lexical database for English, <https://doi.org/10.1145/219717.219748>
- Ramasubramanian C., Ramya, R. 2013.** Effective Pre-Processing Activities in Text Mining using Improved Porter's Stemming Algorithm. *IJARCCCE*, 2(12): 4536-4538.
- Resnik, P. 1995.** Using information content to evaluate semantic similarity in a taxonomy. *IJCAI*, 14(1): 448-453.
- Resnik, P. 1999.** Semantic similarity in a taxonomy an information-based measure and its applications to problems of ambiguity in natural language. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 11: 95-130. <https://doi.org/10.1613/jair.514>
- Rice, S. V., Bunke, H., Nartker, T. A. 1997.** Classes of Cost Functions for String Edit Distance. *Algorithmica*, 18(2): 271-280. <https://doi.org/10.1007/BF02526038>
- Tekli, J., Chbeir, R., Yetongnon, K. 2007.** A hybrid approach for XML similarity. *SOFSEM*, 33: 783-795. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69507-3_68
- Tekli, J., Chbeir, R., Yetongnon, K. 2009.** An overview on XML similarity: background, current trends and future directions. *Computer Science Review*, 3(3): 151-173. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2009.03.001>
- Thuy, P., Lee Y., Lee, S. 2012.** Semantic and structural similarities between XML Schemas for integration of ubiquitous healthcare data. *Journal of Personal and Ubiquitous Computing*, 17(7): 1331-1339. <https://doi.org/10.1007/s00779-012-0567-5>
- Wu, Z., Palmer, M. 1994.** Verbs semantics and lexical selection. *Association for Computational Linguistics*, 32: 133-138. <https://doi.org/10.3115/981732.981751>
- WWW Consortium, The Document Object Model, <http://www.w3.org/DOM>.
- Yang, D., David, M. W. 2005.** Powers, measuring semantic similarity in the taxonomy of WordNet. *ACSC*, 38: 315-322.
- Ye, Y., Li, X., Wu, B., Li, Y. 2011.** A comparative study of feature weighting methods for document co-clustering. *IJITCC* 1(2): 206-220. <https://doi.org/10.1504/IJITCC.2011.039286>
- Yergeau, F., Bray, T., Paoli, J., Sperberg-McQueen, C. M., Maler, E. 2004.** Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Third Edition) W3C Recommendation.
- Zhang, K. Shasha, D. 1997.** Tree Pattern Matching. Pattern Matching Algorithms. *Oxford University Press-Chapter 11*.

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 : (Yazarlar sırayla yazılacaktır)	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 ulaşılacak telefon numarası)**

Belge Geçer : **(Sorumlu yazara ulaşılacak faks numarası)**

E-posta : **(Sorumlu yazarın e-mail adresi)**

ÖNEMLİ NOT: Lütfen, bu formu makaleniz hakem incelemesi için dergi editörlüğüne kabul edildikten sonra doldurunuz, imzalayınız ve makalenizin basılı 2 nüshası ile birlikte "Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi Editörlüğü, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, 67100 İncivez / ZONGULDAK" adresine posta ile gönderiniz.

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 : **(The authors will be written in the order)** 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)**

IMPORTANT NOTE: Please, fill in this form after your manuscript accepted by journal editorial for referee review, sign and sent to mail address: Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, Zonguldak Bülent Ecevit University Faculty of Arts and Sciences, 67100 İncivez / Zonguldak, Turkey" with two copies of published your article.