

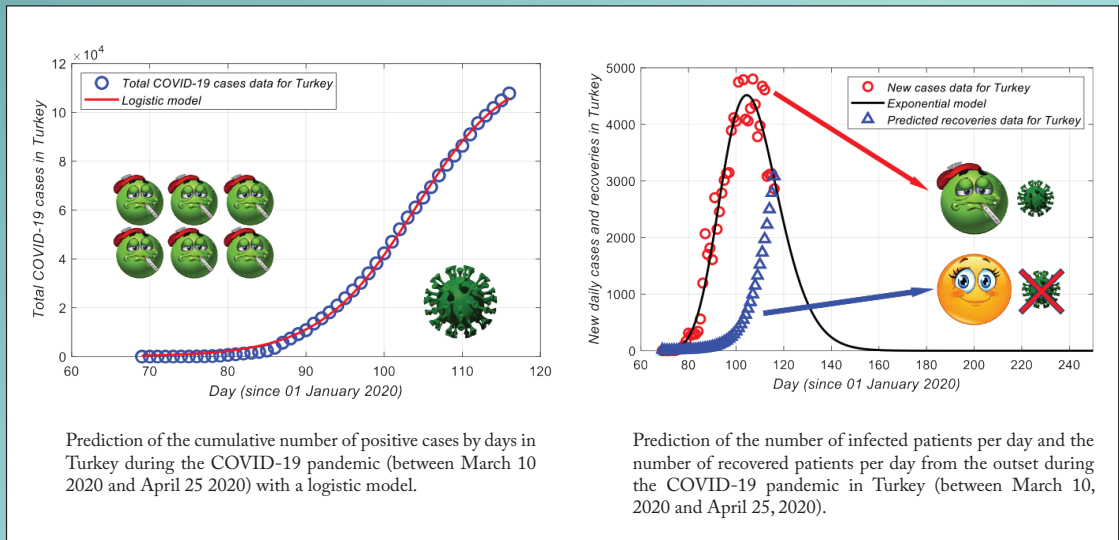


Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Tarafından Yayınlanmaktadır

Published by the Zonguldak Bülent Ecevit University

Karaelmas Science and Engineering Journal



- Tarihi Bölgelerdeki Yığma Yapıların Deprem Güvenliği Ön Değerlendirmesi
- Stokes Flow in a Z-Shaped Cavity with Moving Upper Lid
- Klorantraniliprol İndüklü Toksisitenin *Oreochromis niloticus* Solungaç İyon Taşınım Enzim Aktivitelerine Etkileri
- Determination of Fatty Acid Composition of Seed and Tuber Oils of *Eminiumrauwolfii* (Blume) Schott var. *rauwolfii*
- Using Mathematical Modeling to Evaluate the Restricted Course of Coronavirus Pandemic (COVID-19) in Turkey
- Fitting Hidden Markov Model to Earthquake Data: A Case Study in the Aegean Sea
- Experimental and Numerical Analysis of Using Thermoelectric Generator Modules on Hexagonal Exhaust Heat Exchanger
- Borlama İşlemi Uygulanmış Inconel 718 Süperalaşımın Mikroyapı, Aşınma ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi
- On The Relativistic Two-center Overlap Integrals of Arbitrary Half-Integral Spin Particles
- On Matrix Sequences of Narayana and Narayana-Lucas Numbers

Cilt / Volume: 11
Sayı / Number: 1
Haziran/June 2021

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

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



Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi

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

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Yayın Organı

Official Journal of Zonguldak Bülent Ecevit University

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Adına Sahibi <i>Owner on behalf of Zonguldak Bülent Ecevit University</i>	Mustafa ÇUFALI Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Rektörü
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	https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen
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.

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

Yılda iki sayı yayımlanır

Published two issues per year



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 Memduh KARALAR Hakan KAYA Tolga ACUN Salih ERDEM Melih GENİŞ Seda TIĞLI AYDIN Soner ÇAKAR Gökhan BAYAR Okan ERKAYMAZ Ümran ALAN Nazım KUNDURACI Rukiye UZUN Hüseyin TOPAN Nizamettin ÖZDOĞAN	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University</i>
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 Martin BOHNER Şahnaz BOLKENT Kemal BÜYÜKGÜZEL Suna CEBESOY Neil CUMBERLIDGE Enver DURMUŞOĞLU Ten FEIZI Melih GENİŞ Nursel GÜL Haluk GÜVEN Baki HAZER Akira HIRAO Remzi KARAGÜZEL Mehmet KARATAŞ Figen KAYA Türkan KOPAÇ Per Nicolai MARTENS Boris NATALIN Ahmet ÖZASLAN Mahmut ÖZER İsmail Hakkı ÖZÖLÇER Münevver PINAR Rafat SIDDIQUE Mustafa SÖZEN David W. STANLEY Umut TOPRAK Claude TOUZET Mehmet YAMAN Yılmaz YILDIRIM İskender YILGÖR	Western Kentucky University, United States Missouri University of Science and Technology, United States İstanbul University, İstanbul, Turkey Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Ankara University, Ankara, Turkey Northern Michigan University, Michigan, United States Ege University, İzmir, Turkey Imperial College London, United Kingdom Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Ankara University, Ankara, Turkey Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Kapadokya University, Nevşehir, Turkey Tokyo Institute of Technology, Japan İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey Necmettin Erbakan University, Konya, Turkey Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey RWTH Aachen University, Germany İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, Turkey Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Ankara University, Ankara, Turkey Civil Engineering Thapar University, Paitala (Punjab), India Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Agricultural Research Service-USDA, United States Ankara University, Ankara, Turkey University of Provence, Marseille Cedex, France Bolu İzzet Baysal University, Bolu, Turkey Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey Koç University, İstanbul, Turkey



AMAÇ ve KAPSAM

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

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

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

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

Yayın İzni

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

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

Bilimsel makalelerde, uygun şekilde kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

Abone İşlemleri

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

Yazıların Bilimsel ve Hukuki Sorumluluğu

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

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

AIMS and SCOPE

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

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

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

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

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

Permission Requests

Manuscripts, figures and tables published in the Karaelmas Science and

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

Quotations may be used in scientific articles with proper referral.

Subscriptions

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

Material Disclaimer

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

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



YAZARLARA BİLGİLER

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

Dergide yayınlanacak makale türleri aşağıdaki gibidir.

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

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

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

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

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

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

YAYIN KURALLARI

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

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

MAKALE SUNUMU

Makaleler elektronik ortamda sunulacaktır.

YAZIM KURALLARI

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

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

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

Kapak Yazısı Planı:

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

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

Yazar adları ve adresleri: Başlığın altındaki yazar isimleri kısaltmasız, adı ve soyadı (varsa ikinci ismi veya soy ismi) küçük harf ile ortalanmış olarak 12 punto ve koyu yazı karakteri ile yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır (^{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

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



2. İngilizce makalelerde

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Kaynakların metin içerisindeki kullanımı aşağıda verilmiştir:

1. Türkçe Makalelerde:

Tek yazarlı çalışma (Reşat 2001, Landen 2002).

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

2. İngilizce Makalelerde:

Tek yazarlı çalışma (Landen 2002).

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

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

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

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

Kaynakların metin sonunda verilmiş şekilleri aşağıdaki gibidir:

Makale:

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

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

Kitap:

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

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

Kitapta Bölüm:

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

Rapor:

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

Kongre, Sempozyum:

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

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

İnternet:

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

Anonim web sayfası:

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

Yazarlı web sayfası:

Dawson, J., Smith, L. Deubert, K. 31 Ekim 2002. <http://studytrekk.lis.curtin.edu.au/> şeklinde 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 yazılmalıdır. Metin içerisinde geçen eşitlikler normal parantez () içerisinde numaralandırılmalıdır. Denklem sıra numarası ile birlikte (parantez içerisinde) yazılmalıdır.

Matematiksel denklemlerdeki eşitlikler:

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

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/cm³, 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 (%50) şeklinde belirtilmelidir.

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

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

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

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

Matematik ve ilgili konular için makalenin hazırlanması şu şekilde olmalıdır:

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

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

Makale Yazım Kontrol Listesi

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

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



ETİK KURALLAR

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

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

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

Hakemler İçin Etik Kurallar

Hakemler;

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

https://publicationethics.org/files/Ethical_guidelines_for_peer_reviewers_0.pdf

Yazarlar için etik kurallar

Yazarlar ve yardımcı yazarlar;

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

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

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

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

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

Editörler İçin Etik

Editörler:

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



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



YAYIN ETİĞİ

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

Editörlerin Görevleri

Adil ve editöryal bağımsızlık

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

Gizlilik

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

Açıklama ve çıkar çatışmaları

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

Yayın kararları

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

Soruşturmalara katılım ve işbirliği

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

Gözden Geçirenlerin Görevleri

Editöryal kararlara katkı

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

İstem

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

Gizlilik

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

Nesnellik standartları

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

Kaynakların kabulü

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

Açıklama ve çıkar çatışmaları

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

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

Yazarların Görevleri

Raporlama standartları

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

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

Veri erişimi ve saklama

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

Özgünlük ve intihal

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

Çoklu, yinelenen, gereksiz veya eşzamanlı gönderim/yayın

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

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

Makalenin yazarlığı

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

Açıklama ve çıkar çatışmaları

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

Kaynakların kabulü

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

Tehlikeler ve insan veya hayvan denekleri

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

Akran incelemesi

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

Yayımlanan çalışmalardaki temel hatalar

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



INSTRUCTIONS to AUTHORS

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

Manuscript Categories:

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

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

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

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

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

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

CONDITIONS FOR PUBLICATION

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

PRESENTATION

Papers should be submitted online.

PREPARING MANUSCRIPTS

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

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

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

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

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

Author's Names and Addresses: All Authors full names must be written as lower case with bold 12 font size in the middle. After authors name and surnames, authors addresses should be stated with superscript numbers (e.g. ^{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) Abstract
b) English Title	g) Keywords in Turkish
c) Author's names in Turkish	h) English Abstract (suitable with Turkish Abstract)
d) Orcid id	i) English Keywords
e) Addresses in Turkish	
2. English Paper

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Journal Articles:

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

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

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

A Book:

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

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

A Chapter in a Book:

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

A Report:

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

Conference Proceedings:

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

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

A Thesis:

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

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

In Press:

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

Software:

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

Internet and URL:

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

Web documents with no authors:

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

Web document with author:

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

Symbols and Units: Metric systems or SI units should be used (kPa, kN/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



ETHICAL PRINCIPLES

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

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

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

Ethical Guidelines for Peer Reviewers

Peer Reviewers,

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

https://publicationethics.org/files/Ethical_guidelines_for_peer_reviewers_0.pdf

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 study and its relevance to the remit of the journal.
- Editors should not reverse decisions to accept submissions unless serious problems are identified with the submission.



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

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



PUBLICATION ETHICS

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

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

Duties of Editors

Fair play and editorial independence

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

Confidentiality

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

Disclosure and conflicts of interest

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

Publication decisions

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

Involvement and cooperation in investigations

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

Duties of Reviewers

Contribution to editorial decisions

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

Promptness

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

Confidentiality

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

Standards of objectivity

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

Acknowledgement of sources

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

Disclosure and conflicts of interest

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



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

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

Duties of Authors

Reporting standards

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

Data access and retention

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

Originality and plagiarism

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

Multiple, duplicate, redundant or concurrent submission/publication

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

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

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

Authorship of the manuscript

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

Disclosure and conflicts of interest

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

Acknowledgement of sources

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

Hazards and human or animal subjects

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



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

Peer review

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

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

Fundamental errors in published works

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



İÇİNDEKİLER

Araştırma Makaleleri

- Tarihi Bölgelerdeki Yıgma Yapıların Deprem Güvenliği Ön Değerlendirmesi..... 1**
Ayşe Elif Özsoy Özbay, Işıl Sanrı Karapınar
- Üst Kapağı Hareketli Z-Şekilli Kavitedeki Stokes Akış..... 12**
Ebutalib Çelik, Murat Luzum, Ali Deliceoğlu
- Klorantraniliprol İndüklü Toksisitenin *Oreochromis niloticus* Solungaç İyon Taşınım Enzim Aktivitelerine Etkileri 23**
Özge Temiz, Tüzin Aytekin, Hikmet Y. Çoğun, Ferit Kargın
- Eminium rawwolffii* (Blume) Schott var. *rawwolffii*'nin Tohum ve Tuber Yağlarının Yağ Asidi Bileşimlerinin Belirlenmesi .. 28**
Zeynep Ergün
- Türkiye'deki Koronavirüs Pandemisinin (COVID-19) Kısıtlamalı Seyrinin Matematiksel Modelleme ile..... 33**
Değerlendirilmesi
Kaan Yetilmezsoy, Majid Bahramian, Necdet Cem Ayla
- Saklı Markov Modelinin Deprem Verilerine Uygulanması: Ege Denizinde Bir Örnek Olay 44**
Ozgur Danisman, Umay Uzunoglu Kocer
- Altıgen Egzoz Eşanjöründe Termoelektrik Jeneratör Modüllerinin Kullanımının Deneysel ve Sayısal Analizi..... 54**
Beytullah Erdogan, Kağan Duran, İbrahim Zengin
- Borlama İşlemi Uygulanmış Inconel 718 Süperalaşımın Mikroyapı, Aşınma ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi..... 61**
Hüseyin Duran, Derviş Özkan, Abdullah Cahit Karaoğlanlı
- Keyfi Yarım Spinli Parçacıklar için Rölativistik İki-Merkezli Örtme İntegrali 73**
Ali Bağcı
- Narayana ve Narayana-Lucas Sayılarının Matris Dizileri 83**
Yüksel Soykan, Melih Göcen, Sedat Çevikel



CONTENTS

Research Articles

- Earthquake Preliminary Assessment of Masonry Buildings in Historical Centers** 1
Ayşe Elif Özsoy Özbay, Işıl Sanrı Karapınar
- Stokes Flow in a Z-Shaped Cavity With Moving Upper Lid**..... 12
Ebutalib Çelik, Murat Luzum, Ali Deliceoğlu
- Effects of Chlorantraniliprole-Induced Toxicity on *Oreochromis niloticus* Gill Ion Transport Enzyme Activities** 23
Özge Temiz, Tüzin Aytekin, Hikmet Y. Coğun, Ferit Kargın
- Determination of Fatty Acid Composition of Seed and Tuber Oils of *Eminium rauwolffii* (Blume) Schott var. *rauwolffii***.....28
Zeynep Ergün
- Using Mathematical Modeling to Evaluate the Restricted Course of Coronavirus Pandemic (COVID-19) in Turkey**..... 33
Kaan Yetilmezsoy, Majid Bahramian, Necdet Cem Ayla
- Fitting Hidden Markov Model to Earthquake Data: A Case Study in the Aegean Sea**..... 44
Ozgur Danisman, Umay Uzunoglu Kocer
- Experimental and Numerical Analysis of Using Thermoelectric Generator Modules on Hexagonal Exhaust Heat Exchanger** 54
Beytullah Erdogan, Kağan Duran, İbrahim Zengin
- Investigation of Microstructure, Wear and Mechanical Properties of Boronized Inconel 718 Superalloy** 61
Hüseyin Duran, Derviş Özkan, Abdullah Cahit Karaoğlanlı
- On The Relativistic Two-center Overlap Integrals of Arbitrary Half-Integral Spin Particles**..... 73
Ali Bağcı
- On Matrix Sequences of Narayana and Narayana-Lucas Numbers** 83
Yüksel Soykan, Melih Göcen, Sedat Çevikel



Tarihi Bölgelerdeki Yiğma Yapıların Deprem Güvenliği Ön Değerlendirmesi

Earthquake Preliminary Assessment of Masonry Buildings in Historical Centers

Ayşe Elif Özsoy Özbay* , Işıl Sanrı Karapınar 

Maltepe Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Öz

Bu çalışma kapsamında İstanbul'un tarihi bölgelerinden Galata'da bulunan yiğma yapıların deprem güvenliği açısından önceliğini belirlemek amacıyla ön değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir. Bölgenin tarihi ve kültürel geçmişi sebebiyle depremde risk oluşturabilecek binaların belirlenmesi, gerekli önlemlerin alınması açısından önceliklendirilmesi çok önemlidir. Bu amaçla, bölgede yer alan 213 adet yiğma yapı hızlı tarama yöntemi ile değerlendirilip, bölgesel risk dağılım haritası elde edilmiştir. Her bina için performans puanı hesaplanmış, deprem güvenliği açısından en riskli binalar tespit edilmiştir. Performans puanlarına göre değerlendirilen her bina, yüksek, orta, düşük ve çok düşük riskli olmak üzere dört risk düzeyinden birinde sınıflandırılmıştır. Çalışmada ayrıca ayrıntılı değerlendirme yöntemi uygulanarak bölgede bulunan üç tipik yiğma yapı analiz edilip, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar bölgedeki yiğma yapıların öncelikli risk düzeyini belirleyen ilk çalışmalardan biri olması açısından önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Afet yönetimi, Deprem, Hasar görebilirlik, Hızlı tarama, Yiğma yapı

Abstract

Within the scope of this study, preliminary assessment was carried out to determine the seismic priority of the masonry structures in Galata, one of the historical regions of Istanbul. Due to the historical and cultural background of the region, it is very important to identify the buildings that may have seismic risk and prioritize them to take the required precautions. For this purpose, 213 masonry structures in the region were evaluated with the rapid visual screening method and the map showing the seismic priority distribution of the buildings was obtained. The performance score of each building was calculated and the buildings possessing high-risk priority levels were determined. Each building was ranked according to its performance score and classified with respect to the seismic priority level as high, moderate, low and very low risk. Also, in this study, by applying detailed assessment method, three typical masonry structures in the region were analyzed and their results were compared. The results obtained in the study are important in terms of being one of the first studies determining the priority risk level of masonry structures in the region.

Keywords: Disaster management, Earthquake, Vulnerability, Rapid visual screening, Masonry structure

1. Giriş

Tarih boyunca, dünyanın dört bir yanında bulunan kültürel miras niteliğindeki pek çok yapı, depremlerden ciddi şekilde hasar almış, hatta yıkım riskiyle karşı karşıya kalmıştır. Depremler sonucunda tarihi bölgelerde oluşan yapısal hasarlar kültürel değerlerin kaybına sebep olmaktadır. Bu sebeple, tarihi yapıların depreme karşı güvenliğinin sağlanması ve korunması, deprem riski altındaki ülkeler için önemli bir sorundur. Özellikle kültürel miras açısından zengin ülkelerde, tarihi değere sahip yapıların deprem

tehlikesine karşı korunmasına yönelik geliştirilen stratejiler, kültürel varlıkların gelecek nesillere aktarılabilmesi için çok önemlidir.

Ülkemizde bulunan tarihi yapıların çoğunlukla yiğma yapı tekniği ile inşa edilmiş olduğu görülmektedir. Özellikle tarihi koruma alanlarında bulunan yiğma yapıların olası depremlere karşı güvenliğinin sağlanması ve yapısal güçlendirme gerektiren öncelikli yapıların belirlenmesi için yerel ölçekte hızlı tarama ve ön değerlendirme çalışmalarına ihtiyaç vardır. Deprem riski taşıyan yapıların bölgesel dağılımının belirlenmesi ve hasar görebilirliğinin tespiti, tarihi değere sahip yapıların afet riskine karşı korunmasını amaçlayan stratejik planların önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu bağlamda, son yıllarda, deprem riski barındıran tarihi bölgelerdeki yiğma yapıların hasar görebilirliğini

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: ayseelifozsoyozbay@maltepe.edu.tr

Ayşe Elif Özsoy Özbay  orcid.org/0000-0001-5397-398X

Işıl Sanrı Karapınar  orcid.org/0000-0002-3695-5867

konu alan araştırmalarda hızlı ön değerlendirme yöntemlerinin uygulanması yaygınlaşmıştır (D'Ayala vd. 2011, Vatan ve Arun 2012, Achs ve Adam 2012, Karaşın vd. 2016). Bu çalışmaların bir kısmında, tarihi dokunun yapılaşma türüne özgü hasar görebilirlik parametrelerinin hesaplanması için daha önceki depremlerde hafif, belirgin ya da ağır hasar alan yapıların deprem davranışları sayısal olarak modellenmiştir (Brando vd. 2017, Goded vd. 2018, Chieffo vd. 2019, Ferreira vd. 2019, Guardiola-Villora vd. 2019, Hannewald vd. 2020). Bu şekilde, çeşitli bölgelerdeki belirgin yapı tipolojilerini temsil eden deprem hasar görebilirlik modellerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Literatürde, mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş pek çok hızlı tarama yönteminin bulunduğu görülmektedir (Zucconi vd. 2018, Brando vd. 2019, Aldemir vd. 2020). Genel olarak bu yöntemler, mevcut binaya ait toplanan bilgilerin, yonteme özgü parametreleri içeren değerlendirme formlarına işlenerek envanterinin oluşturulması ile elde edilen bir puanlama sistemine dayanmaktadır. Yapının performansına ilişkin puanlama sonucunda, incelenen yapının depreme karşı hasar görebilirliği hızlı bir şekilde değerlendirilebilmektedir. Ön değerlendirme teknikleri içerisinde en yaygın olarak kullanılan FEMA P-154 (2015), temel bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu yöntem, risk altındaki bina grubunu farklı yapısal parametrelere göre tanımlayıp, mevcut yapıların deprem güvenliği açısından değerlendirme önceliğini sıralamaktadır. Kanada Ulusal Araştırma Birliği tarafından geliştirilen bir diğer hızlı tarama yöntemi (NRC/IRC 1992), incelenen bina için deprem sırasında tehdit oluşturma potansiyeline sahip, yapısal olmayan parametrelerin yanı sıra, bölgenin depremselliği, yerel zemin koşulları ve yapısal özellikleri içeren deprem riski öncelik puanının hesaplanmasına dayanmaktadır. Japon Sismik İndeks Yöntemi (JPDPA 2001) ise üç aşamalı bir değerlendirme yöntemi olup, bu yöntemde aşama seviyesi artışı ile incelenen bina ile ilgili daha ayrıntılı bilgiyle daha detaylı hesaba ihtiyaç duyulur. Yöntemin birinci aşamasında, taşıyıcı elemanların enkesit özellikleri ve malzeme bilgisi kullanılarak incelenen yapının deprem performansına ilişkin ön değerlendirme yapılır. Yeni Zelanda Deprem Mühendisliği Birliği tarafından geliştirilen bir diğer yöntem ise (NZSEE 2006), binaların deprem etkisi altında yapısal performansının belirlenmesinde kullanılan hızlı değerlendirme ve ayrıntılı değerlendirme aşamalarından oluşmaktadır. Ülkemizde ise yığma yapılar için hızlı ve ayrıntılı değerlendirme yöntemleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayınladığı riskli binaların değerlendirilme-

sine ilişkin esasları içeren yönetmelik kapsamında (RBTE 2013) yer almaktadır. Yönetmelikte yer alan hızlı tarama yöntemi, yerel ölçekte deprem riski barındıran binaların bölgesel dağılımının belirlenmesinde; yerel yönetimler ve yetkililer tarafından daha kapsamlı değerlendirmeye ihtiyaç duyulan yapılar için önceliklendirme kararının verilmesinde kullanılmaktadır.

Deprem öncesi ve sonrası planlama süreçlerinde, kültürel miras ve tarihi değeri olan binaların deprem risklerinin belirlenip, restorasyon, yenileme ve güçlendirme konularında karar verilmesi, bu yapıların mümkün olduğu ölçüde korunması için hayati önem taşımaktadır. Bu unsur göz önünde bulundurularak, bu çalışmada İstanbul'un tarihi bölgelerinden Galata'daki yığma yapıların deprem riskine karşı ön değerlendirilmesi ve deprem güvenliği açısından ayrıntılı analizlere ihtiyaç duyan yapıların önceliklendirilmesi araştırılmıştır. Bölgedeki mevcut yığma yapıların aşamalı olarak değerlendirilmesi ile ilgili olarak, RBTE-2013 kapsamındaki birinci ve ikinci aşama değerlendirme yöntemleri esas alınmıştır. Birinci aşamada, bölgedeki 213 adet yığma yapının ön değerlendirmesi gerçekleştirilip, bölgesel risk dağılım haritası elde edilmiştir. Bu aşamada elde edilen sonuçlar, tarihi değere sahip bölgedeki yığma yapıların öncelikli risk düzeyini belirleyen ilk çalışmalardan biri olması açısından önemlidir. Çalışmanın ikinci bölümünde ise, bölgedeki üç adet yığma bina örnek olarak seçilip, ikinci aşama değerlendirme yöntemi esas alınarak, uygulamalı kıyaslama gerçekleştirilmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Birinci Aşama Değerlendirme Yöntemi

Yığma yapı stoğu hakkında bir ön değerlendirme niteliğinde olan birinci aşama değerlendirme yöntemi, hızlı tarama yöntemiyle belirlenen bazı parametrelere bağlı olan bir puanlama hesabına dayanmaktadır. Kat sayısı en fazla 5 olan mevcut yığma binalar için kullanılan bu hızlı tarama yönteminin temel özelliği, binaların kat sayısına ve sismik tehlike bölgelerine göre hesaplanan taban puanına (TP) ve saha incelemesi sırasında veri toplama formları doldurularak belirlenen olumsuzluk parametrelerine (OP) dayanmasıdır. İncelenen yığma yapıların taşıyıcı sistem türü; donatısız, donatılı, kuşatılmış yığma ya da donatılı panel sistem şeklinde sınıflandırılmaktadır. Yöntemde esas alınan olumsuzluk parametreleri, yığma binanın; malzeme, işçilik, mevcut hasar durumu açısından görünen kalitesi, nizam türüne göre oluşabilecek çarpışma etkisi, planda düzensizlik durumu, düşey yönde duvar boşluk düzeni, duvar miktarı

Çizelge 1. Bina kat sayısına bağlı değişen olumsuzluk parametre puanları

Kat adedi	Olumsuzluk Parametreleri (OP)									
	Yumuşak kat	Duv. boşluk düzensizliği	Duv. miktar yetersizliği	Çarpışma etkisi				Planda düzensizlik	Topografik etki	Yatay hatlı yetersizliği
				Döşeme seviyesi aynı		Döşeme seviyesi farklı				
				Orta	Kenar	Orta	Kenar			
1	0	0	-5	0	-5	-5	-10	-5	-5	-5
2	-5	-5	-5	0	-5	-5	-10	-10	-5	-5
3	-5	-5	-10	0	-5	-5	-10	-10	-5	-5
4	-10	-10	-10	0	-5	-5	-10	-15	-5	-5
5	-10	-10	-15	0	-5	-5	-10	-20	-5	-5

yetersizliği, yumuşak kat, topografik etki (cepheye göre kat farklılığı), düzlem dışı davranış etkisi, yatay hatlı yetersizliği ve çatı malzemesi gibi parametrelerle ifade edilmektedir. Saha incelemesi sırasında uzman tarafından yığma binaların kat sayısına bağlı olarak değişen söz konusu olumsuzluk parametrelerinin her birine verilen puanlar Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Her olumsuzluk parametresinin varlığına bağlı olarak, belli katsayılar (O=0, 1, 2) doğrultusunda taban puanları azaltılmaktadır. Çizelge 2’de verildiği üzere, görünen kaliteye bağlı olumsuzluk parametresinde malzeme ve işçilik kalitesi iyi durumda ise bu değer 0, orta ise 1, kötü ise 2 alınmaktadır. Binada mevcut hasar durumu yok ise bu değer 0, var ise 1 alınmaktadır.

Çizelge 2. Görünen kalite için olumsuzluk parametre değerleri

Malzeme kalitesi (0/1/2)	İşçilik kalitesi (0/1/2)	Mevcut hasar durumu (0/1)
-10	-5	-5

TP hesabında, sismik tehlike bölgelerini belirlemek için metodolojide 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan deprem yer hareketi (DD-2) kullanılır. Zemin türü, yığma yapının coğrafi koordinatı ve deprem düzeyi göz önünde bulundurulup, kısa periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) hesaplanarak tehlike bölgesi belirlenir. Sismik tehlike bölgesi, hesaplanan S_{DS} değeri ve bina kat sayısına bağlı olarak Çizelge 3 kullanılarak her bina için TP elde edilir.

Bu adımların tamamlanmasıyla, mevcut yığma binalar için; bina taban puanları, sahada elde edilen parametre değerleri ve olumsuzluk puanları esas alınarak bina performans puanları Denklem 1 yardımıyla hesaplanır. Denklem 1’de

Çizelge 3. Yığma binalar için taban puanı (TP)

Kat Sayısı	Sismik tehlike bölgesi		
	I $S_{DS} \geq 1.0$	II - III $0.5 \leq S_{DS} < 1.0$	IV $S_{DS} < 0.5$
1	110	120	130
2	100	110	120
3	90	100	110
4	80	90	100
5	70	80	90

YSP ile ifade edilen yapısal sistem puanı yığma yapının türüne bağlı olarak belirlenmekte olup, donatısız ve karma yığma yapılar için 0, kuşatılmış yığma binalar için 30, donatılı yığma binalar için 60 kabul edilmektedir.

$$PP = TP + \sum_{i=1}^n [(O_i) * (OP_i)] + YSP \quad (1)$$

Elde edilen performans puanı (PP) her bina için deprem performansının yeterli olup olmadığını göstermekte olup, PP değeri düşük olanlar güçlendirme için yüksek önceliğe sahip olan binaları simgelemektedir. Bu şekilde, hesaplanan puanların dağılımı kullanılarak binalar arasında risk önceliği belirlenmektedir.

2.2. İkinci Aşama Değerlendirme Yöntemi

İkinci aşama değerlendirme yönteminde, mimari projenin bulunmadığı durumda yapının geometrisi ve taşıyıcı sistem özelliklerini tümüyle içeren rölöve planı hazırlanır. Mimari projenin bulunduğu durumlarda ise binaya ait tüm bilgilerin doğruluğu tespit edilir. İncelenen yığma yapının rölöve planındaki serbest kat adedi, brüt kat alanı, döşeme sistemi ve kalınlığı, ardışık katların döşeme üst kotları referans alınarak ölçülen kat yüksekliği detaylı değerlendirme yöntemindeki hesap adımları için gerekli en temel yapısal parametrelerdir. Rölöve kat planında her iki doğrultudaki yığma duvarların

plandaki yerleşimleri, kalınlıkları ve boyları ile geometrik bilgilerin değerlendirmeye ait hesap adımlarında kullanılması gerektiği için ölçümlerin hassasiyeti oldukça önemlidir.

Detaylı değerlendirme için yapının malzeme ve hasar durumuna ait bilgileri toplanır. Tarihi bölgelerde bulunan yığma yapılarda, duvar kârgir birimler genellikle taş ya da harman tuğlası olmakla birlikte, duvar malzemesinin türü ve dizilişi taşıyıcı duvar yüzeyinde bulunan sıvanın kaldırılması ile saptanır.

İncelenen yapıda deprem riski durumunun belirlenmesi için kullanılan değerlendirme yöntemine ait adımlar Şekil 1’de detaylı olarak belirtilmiştir. Şekil 1’de özetlenen yöntemin ilk adımında, kat planının her iki doğrultusundaki duvar boyu, I_d ’nin kat brüt alanına (A) oranının bina önem katsayısı, I ’nin %20’sini aşıp aşmadığı kontrol edilir:

$$I_d/A > 0.20 \times I(m/m^2) \quad (2)$$

Bina önem katsayısı, I incelenen yapının kullanım amacına göre belirlenir (TDY 2007). Duvar boyu kontrolleri sağlandığı takdirde, tüm yapı için düşey gerilme kontrolü ve plandaki her duvar için kayma gerilmesi kontrolü gerçekleştirilir. Düşey gerilme kontrolü için deprem yönetmeliğinde kârgir birimi türüne göre belirtilen f_{em} duvar basınç emniyet gerilmesi değeri belirlenir. Ancak, gerilme kontrolünde izin verilen duvar basınç emniyet gerilmesi $f_{em,d}$ duvar basınç emniyet gerilmesinin duvar narınlığına ve bilgi düzeyine göre azaltılmış halidir. Duvar malzemelerinin özellikleri, duvar yüzeyinde bulunun sıvanın kaldırılması ile görsel olarak tespit edilmesi durumunda yapıda bilgi düzeyi sınırlı olarak kabul edilir. Bu durumda bilgi düzeyi katsayısı (BDK) 0.90 olarak alınır.

Kayma gerilmeleri kontrolü, kat planında bulunan her bir duvar parçası için ayrı ayrı yapılmaktadır. Denklem 3.’te verilen duvar kayma emniyet gerilmesi τ_{em} , duvar kârgir birimine göre deprem yönetmeliğinde tanımlanan t_0 çatlama emniyet gerilmesi; μ sürtünme katsayısı ve duvarlarda düşey yükler altında meydana gelen basınç gerilmesi σ parametrelerine bağlı olarak hesaplanmaktadır:

$$\tau_{em} = \tau_0 + \mu * \sigma \quad (3)$$

Deprem yönetmeliğinde, yığma yapılar için sürtünme katsayısının 0.5 olarak ($\mu=0.5$) alınabileceği belirtilmiştir. Analizde kullanılan $\tau_{em,d}$ kayma emniyet gerilmesi, (sınırlı bilgi düzeyi için 0.90 olarak alınan) bilgi düzeyi katsayısı ile τ_{em} duvar kayma emniyet gerilmesinin çarpımı ile elde edilir. İncelenen yapının kayma gerilmesi kontrolünde taban kesme kuvveti:

$$V_b = \frac{A_0 * I * W * S(T_1)}{R_a(T_1)} \quad (4)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Bu denklemde, A_0 etkin yer ivme katsayısını; I bina önem katsayısını; W yığma yapının toplam ağırlığını; R_a deprem yükü azaltma katsayısını ve $S(T_1)$ spektral ivme katsayısını simgelemektedir. Taşıyıcı duvarlarda meydana gelen kayma gerilmeleri hesabında, taban kesme kuvveti $S(T_1)=2.5$ ve $R_a(T_1)=2$ değerleri kullanılarak elde edilmektedir (TDY 2007).

Kayma gerilmesi kontrolünün ilk adımında, yapının kütle ve rijitlik merkezleri hesaplanmaktadır. Rijitlik merkezinin kat düzlemindeki koordinatları (x_c ve y_c), x ve y yönünde bulunan her bir duvar parçasına ait kütle merkezi (x_i ve y_i); bulunduğu doğrultudaki kayma rijitliği ($k_{x,i}$ ve $k_{y,i}$); ve enkesit alanı ($A_{x,i}$ ve $A_{y,i}$) parametrelerine bağlı olarak elde edilmektedir. Değerlendirme yöntemine ait hesap akış şemasının bir sonraki adımında, kütle merkezi ve rijitlik merkezi arasındaki farka bağlı olarak elde edilen J burulma rijitliği hesabı yer almaktadır. Bu iki merkez arasındaki farkın büyük olması, hesaptaki M_x ve M_y burulma etkilerinin artmasına; her bir duvar parçası üzerinde ilave kesme kuvvetlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. x ve y yönünde konumlandırılmış her bir duvar için $V_{x,i}$ ve $V_{y,i}$ kesme kuvveti değerleri, tersinir burulma momentleri göz önünde bulundurularak hesaplanır. Bu durumda, her bir duvar parçası için iki adet kayma gerilmesi elde edilmiş olur. Değerlendirmenin son adımında, tüm yükleme durumları için her bir duvar parçasına ait kayma gerilmesi değerleri:

$$\tau_{x,i} \leq \tau_{em,d} \quad (5a)$$

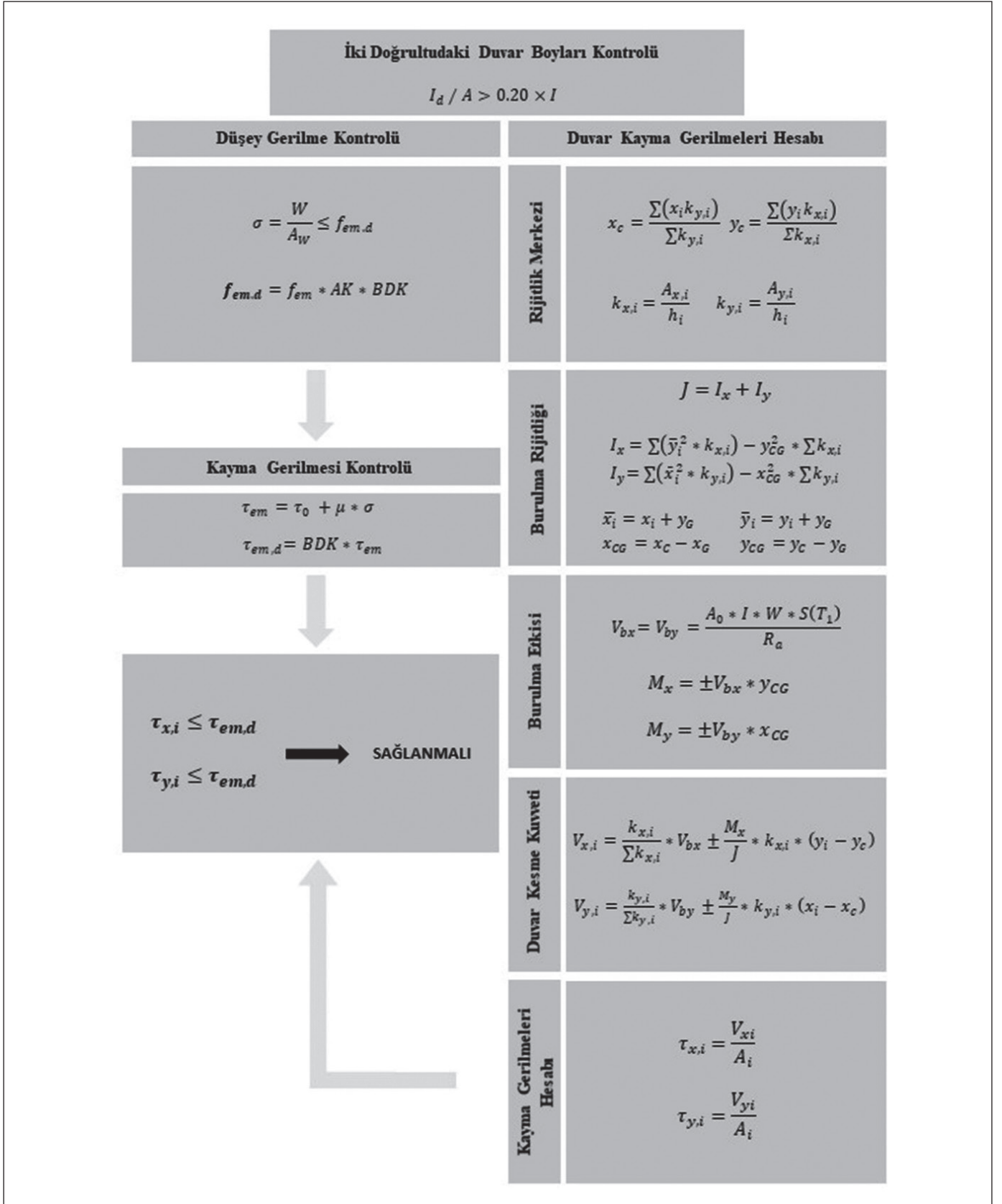
$$\tau_{y,i} \leq \tau_{em,d} \quad (5b)$$

koşullarını sağlıyor ise, incelenen yapı ikinci aşama değerlendirme yöntemine göre “güvenli” kabul edilecektir.

3. Bulgular

3.1. Birinci Aşama Değerlendirme Yöntemi ile Bölgesel Risk Dağılımının Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında, İstanbul’un tarihi bir bölgesinde bulunan bir grup yığma yapının bölgesel deprem risk dağılımı birinci aşama değerlendirme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmada yer alan 213 adet yığma yapı, 19. yüzyılın son döneminde inşa edilmiş olup, mimari tasarım ve yapı tekniği açısından döneme ait ortak bir yapı tipolojisini temsil etmektedir (Öncel 2010). Örnek yapı grubunun bulunduğu tarihi koruma alanının, yapılaşmanın oldukça sık ve yoğun olduğu eğimli sokaklardan; çoğunlukla

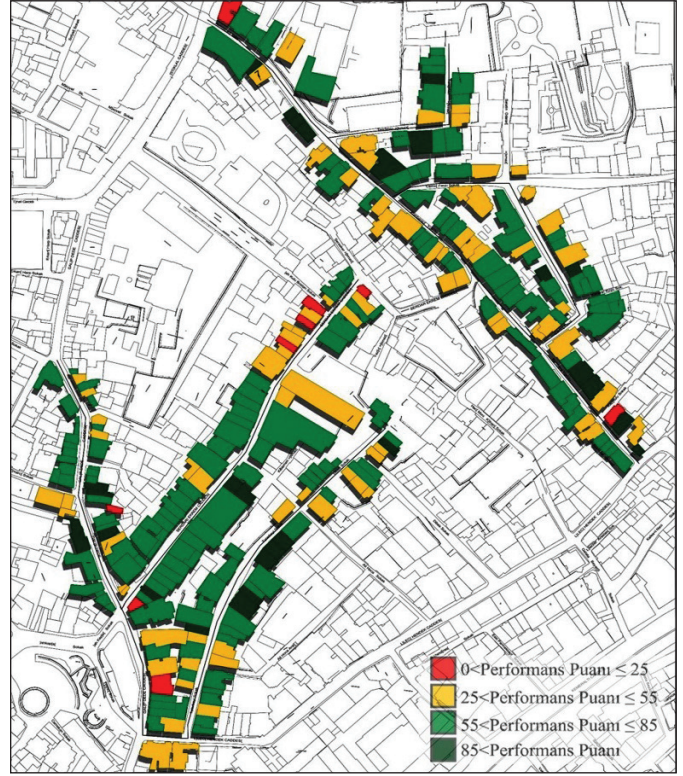


Şekil 1. İkinci aşama değerlendirme yöntemi için hesap adımları.

1 ile 6 kat yüksekliğinde, bir ya da iki cepheleri ortak bitişik nizam yapılardan oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada incelenen yapıların tümü, bitişik nizam olarak konumlandırılmış, taşıyıcı sistemi donatısız yığma olarak tasarlanmış, çelik putreller ile desteklenen volta döşeme sistemine sahip yığma binalardan oluşmaktadır. Yapıların inşa edildiği zemin türü ise ZB olarak tespit edilmiştir (JICA 2002).

Yapıların birinci aşama değerlendirme yöntemi ile deprem riskinin ve öncelik grubunun belirlenmesi sürecinde yürütülen saha çalışmaları ve toplanan veriler, yapı stoğunun %54'ünün 5 katlı, %24'ünün 4 katlı; %12'sinin 3 katlı; %8'inin 2 katlı ve %1'inin 1 katlı olduğunu göstermektedir. Yapılan saha çalışmaları sonucu, yapı grubunun önemli kısmında yumuşak kat (%34), yetersiz görünen kalite (%24) ve planda düzensizlik durumu (%22) bulunduğu tespit edilmiştir. Bu aşamada, incelenen her yapı için performans puanı (PP), saha çalışmalarından toplanan bina bilgileri ve tespit edilen olumsuzluk parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan PP dağılımı dikkate alınarak değerlendirilen yapılar, deprem riski öncelik seviyesine göre sınıflandırılmıştır. Bu şekilde, deprem riski öncelik seviyeleri, PP aralıklarına göre $0 \leq PP \leq 25$ için yüksek riskli, $25 < PP \leq 55$ için orta riskli; $55 < PP \leq 85$ için düşük riskli; $PS > 85$ için çok düşük riskli olarak tanımlanmıştır.

Değerlendirilen yığma yapıların performans puanlarına göre bölgesel dağılımları Şekil 2.'de detaylı olarak gösterilmiştir. Şekil 2'deki bölgesel risk dağılım haritası detaylı olarak incelendiğinde, incelenen yapıların %4'ü yüksek riskli; %29'u orta riskli; %54'ü düşük riskli; %13'ü ise çok düşük riskli olarak sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde, yüksek riskli yapıların tümünün 5 katlı olduğu ve çoğunluğunda planda düzensizlik ve yumuşak kat durumunun bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda, haritada kırmızı renge sahip deprem riski yüksek olarak sınıflandırılan yapıların, güncel deprem yönetmeliğimizde tarif edilen detaylı hesap yöntemleri ile birincil sırada değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan birinci aşama değerlendirme yöntemi, kent ölçeğinde deprem riskine karşı hazırlık ve planlama süreçlerinde, riskli olabilecek yığma binaların bölgesel dağılımının elde edilmesi ve buna bağlı afet yönetimi yetkililerinin detaylı değerlendirmeye ihtiyaç duyulan binalarda önceliklendirme kararının verilmesine imkan sağlamaktadır. Dolayısıyla bu aşamada elde edilen sonuçlar, söz konusu bölgedeki yığma yapıların değerlendirilmesi için kaynak niteliğindedir.



Şekil 2. İncelenen yapıların performans puanı dağılımları.

3.2. İkinci Aşama Değerlendirme Yöntemi ile Örnek Yiğma Yapıların İncelenmesi

Bu çalışma kapsamında, birinci aşama değerlendirme yöntemi ile İstanbul'un kültürel miras ve tarihi değeri olan bir bölgesinde bulunan eski yığma yapının bölgesel deprem riski dağılımı elde edilmiştir. Birinci aşama değerlendirme yöntemi, yerel yönetimlerin afete hazırlık ve planlama süreçlerinde bölgesel olarak yapıların deprem güvenliğinin detaylı şekilde değerlendirme ihtiyacının belirlenmesi ve riskli olabilecek binaların öncelik durumunun tespitinde son derece hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Bölüm 2.1'de tarif edilen ikinci aşama değerlendirme yöntemi ise incelen binayla ilgili daha kesin ve kapsamlı bilgilere ihtiyaç duyulduğu bina bazında uygulanan bir hesap yöntemidir. Özellikle, yığma yapının kat yüksekliği; brüt kat alanı; taşıyıcı duvarlarda kullanılan malzeme türü; duvarların kat planındaki konumları ve en kesit boyutları gibi yapısal bilgiler, kullanılan değerlendirme yönteminin en önemli parametreleridir.

Çalışmanın bu bölümünde, deprem riskinin bölgesel olarak belirlendiği çalışma alanında bulunan üç tipik yığma yapı örneği, ikinci aşama değerlendirme yöntemi kullanılarak

Çizelge 4. Performans puanına göre sınıflandırılan yapılarda tespit edilen olumsuzluk parametreleri

Performans Puanı	Planda Düzensizlik	Mevcut Hasar	Duvar Miktarı Yetersizliği	Düşey Boşluk Düzensizliği	Cepheye Göre Kat Farklılığı	Yumuşak Kat
$0 < PP \leq 25$	8	4	2	4	5	7
$25 < PP \leq 55$	32	26	27	7	20	27
$55 < PP \leq 85$	6	17	6	9	3	30
$85 < PP$	1	5	1	0	0	8
Toplam Bina	47	52	36	20	28	72
% Bina	22	24	17	9	13	34

YB-I	YB-II	YB-III
<p>Yapım Tarihi : 1895-1905 Kullanım amacı : Hotel-Yenileme Yapım sistemi : Yiğma yapı Duvar birimi : Taş ve harman tuğlası Döşeme türü : Volta döşeme Kat adedi : N = 5 Kat yüksekliği : $H_N = 3.00$ m Brüt kat alanı : A = 90.08 m²</p>	<p>Yapım Tarihi : 1895-1905 Kullanım amacı : Apartman Yapım sistemi : Yiğma yapı Duvar birimi : Taş ve harman tuğlası Döşeme türü : Volta döşeme Kat adedi : N = 4 Kat yüksekliği : $H_N = 2.90$ m Brüt kat alanı : A = 196.10 m²</p>	<p>Yapım Tarihi : 1874-1895 Kullanım amacı : Apartman Yapım sistemi : Yiğma yapı Duvar birimi : Taş ve harman tuğlası Döşeme türü : Volta döşeme Kat adedi : N = 6 Kat yüksekliği : $H_N = 3.00$ m Brüt kat alanı : A = 192.30 m²</p>

Şekil 3. İncelenen binalara ait kat planları ve yapısal özellikler.

deprem güvenliği açısından analiz edilmiştir. Seçilen üç örnek yiğma yapı, 19. yüzyılın son dönemlerinde benzer yapım teknikleri ve malzeme türü kullanılarak inşa edilmiş olup analizlerde kullanılan kat planları, tarihi değere sahip bölgeyle ilgili araştırmalardan temin edilmiştir (Öncel 2010, Batur 2007).

Şekil 3'te, incelenen örnek binalara ait kat planlarına ve yapısal özelliklere yer verilmiştir. Dönemin kagir yapım ustaları tarafından inşa edilen örnek binalarda, taşıyıcı duvarların yapımında harman tuğlasının kullanılmış olduğu

ve kat düzlemlerinin volta döşeme olarak teşkil edildiği gözlemlenmiştir. İkinci aşama değerlendirme yönteminin kayma gerilmesi kontrolü hesap adımında kullanılmak üzere örnek yapıların kat planları üzerinde x ve y yönü duvar birimleri isimlendirilmiştir.

YB-I, YB-II ve YB-II olarak isimlendirilen söz konusu üç yiğma binanın her iki yöndeki duvar boyu kontrolü ve düşey yükler altında meydana gerilen basınç gerilmeleri kontrolüne ait hesap bilgileri ve sonuçları Çizelge 5'te özetlenmiştir. Örnek yapılarda hesap sonuçları incelendiğinde, bina kat

Çizelge 5. İncelenen binalarda duvar boyu ve düşey gerilme kontrolü sonuçları

		YB-I	YB-II	YB-III
Brüt kat alanı	A (m ²)	90.08 m ²	196.10 m ²	92.30 m ²
x yönü duvar enkesit alanı	A _{wX} (m ²)	6.38 m ²	18.56 m ²	35.69 m ²
y yönü duvar enkesit alanı	A _{wY} (m ²)	11.63 m ²	33.52 m ²	31.91 m ²
x yönü duvar boyu	I _{dx} (m)	23.05 m	23.05 m	23.05 m
y yönü duvar boyu	I _{dy} (m)	38.45 m	38.45 m	38.45 m
x ve y yönü duvar boyu kontrolü				
I _{dx} /A > 0.20 × I (m/m ²)		0.26 > 0.20 (m/m ²)	0.24 > 0.20 (m/m ²)	0.36 > 0.20 (m/m ²)
I _{dy} /A > 0.20 × I (m/m ²)		0.43 > 0.20 (m/m ²)	0.35 > 0.20 (m/m ²)	0.33 > 0.20 (m/m ²)
Düşey gerilme kontrolü, σ ≤ f _{em,d}		0.225 MPa ≤ 0.605 MPa	0.132 MPa ≤ 0.605 MPa	0.157 MPa ≤ 0.605 MPa

planının her iki doğrultusunda duvar boyu kontrollerinin sağladığı görülmektedir. Aynı zamanda, incelenen YB-I, YB-II ve YB-III yapılarının düşey yükler altında hesaplanan duvar basınç gerilmelerinin, izin verilen duvar basınç emniyet gerilme değerini aşmadığı tespit edilmiştir.

Değerlendirmenin son adımında, deprem yüklerinin yapının kritik katındaki x ve y yönü duvar birimlerinde oluşturduğu kayma gerilmeleri, izin verilen sınır değer ile karşılaştırılmıştır. Her bir duvar parçalarına etkiyen kesme kuvveti hesaplanırken, tersinir burulma momentlerinden oluşan ilave etkiler göz önünde bulundurulmuştur. YB-I, YB-II ve YB-III örnek yapılarının kritik katlarında bulunan duvar birimlerinde oluşan kayma gerilmeleri Şekil 4'te gösterilmektedir. Sayısal sonuçlar incelendiğinde, her üç yapının kayma gerilmesi değerleri izin verilen sınır değerleri aşmadığı için ikinci aşama değerlendirme yöntemine göre binaların "güvenli" olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, deprem etkisi altında YB-I ve YB-II'ye ait x yönü duvarlarının daha fazla zorlandığı ve izin verilen kayma emniyet gerilmesine belirgin şekilde daha yakın olduğu tespit edilmiştir. Örnek yapıların kat planları karşılaştırıldığında, YB-III'ten farklı olarak YB-I ve YB-II'nin x yönü duvar birimlerinin en kesit alanlarının diğer doğrultuda bulunan duvarlara göre daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, yiğma binaların deprem güvenliğini büyük ölçüde belirleyen taşıyıcı duvar kalınlığının, boyunun ve kat planındaki yerleşiminin, söz konusu değerlendirme yönteminin de en temel hesap parametreleri olduğu görülmüştür.

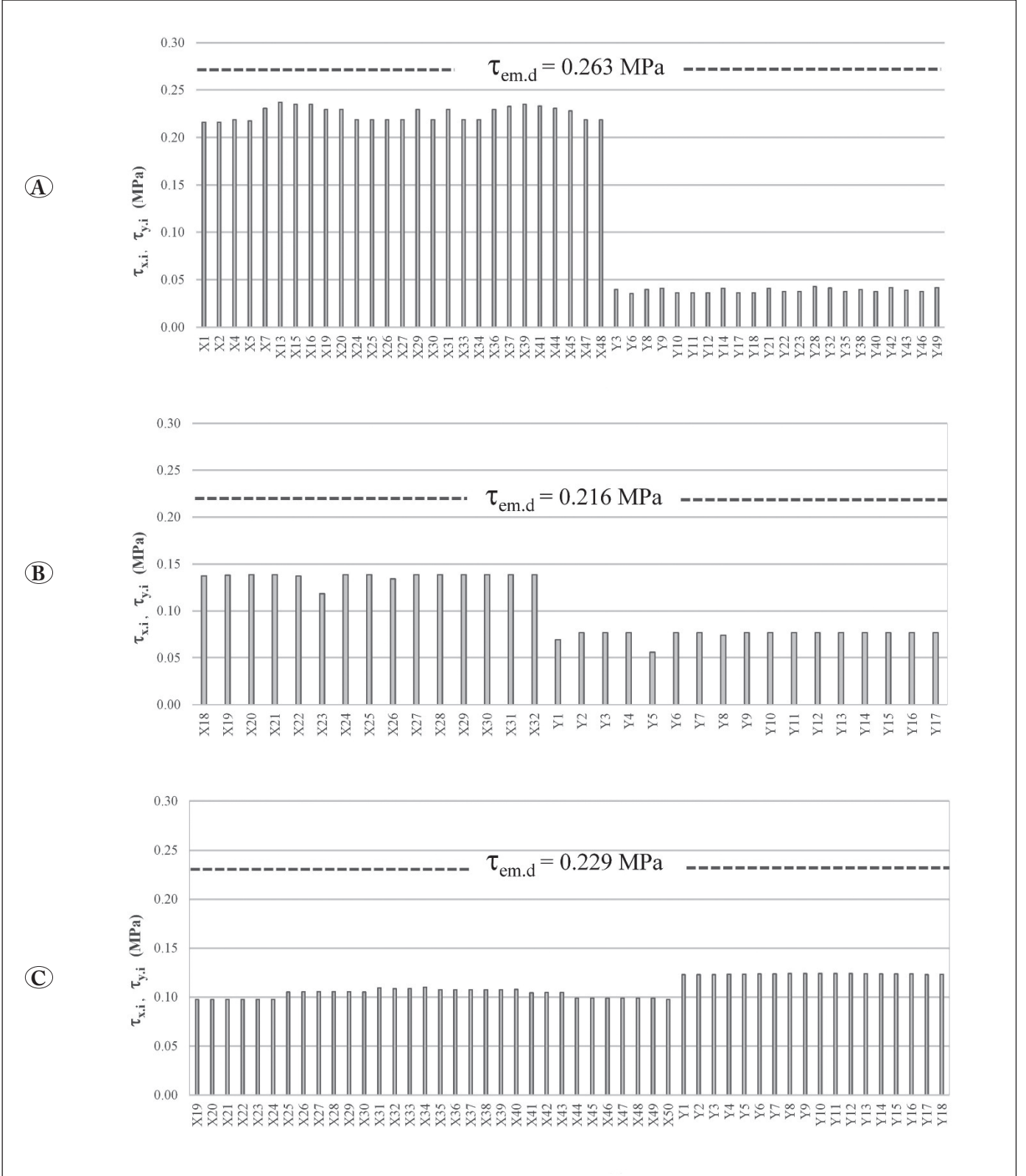
4. Tartışma

Deprem öncesi ve sonrası afet yönetimi özellikle yüksek sismik risk altındaki şehirler için çok önemlidir. Dolayısıyla, depreme hazırlıklı olmak için, bu şehirlerde hasar görebilir-

liği yüksek ve güçlendirilmeye öncelik verilmesi gereken risk düzeyi yüksek binaların belirlenmesi gerekmektedir. Çeşitli yapı türleri içerisinde, özellikle tarihi bölgelerdeki kültürel miras niteliğindeki yiğma binalar için güçlendirme faaliyetlerinin önceliklendirilmesi için hızlı ve güvenilir verilerle bu kararların verilebilmesi çok önemlidir. Tarihi yapıların korunmasının ve gelecek nesillere aktarılmasının önemi de düşünüldüğünde, iyi organize edilmiş bir saha araştırmasıyla mevcut yiğma yapılarda gerekli analizlerin yapılarak, tarihi bölgelerdeki binalar için hızlı ve doğru karar verilmesini sağlayan bir öncelik stratejisi oluşturulmalıdır.

Bu çalışmada, RBTE-2013 yönetmeliğinin yiğma yapıların aşamalı değerlendirilmesi için verdiği esaslara dayanarak, İstanbul'un tarihi bölgelerinden Galata'daki yiğma yapıların, sismik açıdan birinci ve ikinci aşama değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde, söz konusu tarihi merkezdeki 213 adet yiğma bina için, hızlı taramayla toplanan saha verilerine dayanarak birinci aşama değerlendirme yöntemi tamamlanmış ve bölgesel risk dağılım haritası elde edilmiştir. Bu aşamada bölgedeki binaların sismik öncelik dağılımını anlamak için hesaplanan performans puanları esas alınmıştır. Elde edilen sonuçlar bölgedeki yiğma yapıların öncelikli risk düzeyini belirleyen ilk çalışmalardan biri olması açısından önem arz etmektedir.

Birinci aşama yöntemi esas alan bir diğer çalışmada, yiğma yapılarda cephedeki taşıyıcı duvarlarda bulunan pencere ve kapı türü boşlukların duvar sürekliliğini etkilediği; boşluk oranına bağlı hesaplanan duvar miktarı yetersizliği parametresinin yapının performans puanını önemli ölçüde değiştirdiği belirtilmektedir (Karaşin vd. 2016). Bu çalışmanın sonuçları incelendiğinde, benzer şekilde, görsel tarama sırasında tespit edilen duvar miktarı yetersizliğinin yapının depreme karşı zarar görebilirliğini ifade eden performans



Şekil 4. x ve y yönü duvarlar için kayma gerilmeleri kontrolü. A) YB-I; B) YB-II; C) YB-III.

puanında düşüşe sebep olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, düzenli ve düzensiz yığma duvarların deprem davranışı üzerine yapılan bir çalışmada, duvar düzleminde bulunan düzensiz boşlukların yapı sistemine ait yük akışını ve deprem performansını olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir (Siano vd. 2017).

Tarihi bölgelerde depreme karşı bölgesel risk dağılımını konu alan çalışmalarda elde edilen sonuçlar, asimetrik kat planına sahip yığma yapıların deprem güvenliğinin burulma etkisine bağlı olarak olumsuz yönde etkilendiğini göstermektedir (Bosco vd. 2015, Formisano vd. 2015, Jiménez vd. 2018). Benzer şekilde, bu çalışmada da planda düzensizlik olumsuzluk parametresinin bulunduğu yapılarda, deprem risk düzeyinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise, bölgedeki üç adet yığma bina örnek olarak alınarak, ikinci aşama değerlendirme yönteminin takip edilmesiyle, uygulamalı karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bu kısmında elde edilen sonuçlar, yığma yapıyı oluşturan duvarların kat planındaki yerleşiminin ve en kesit özelliklerinin değerlendirme yöntemdeki en belirleyici temel hesap parametreleri olduğunu açıkça göstermiştir.

Yapısal ön değerlendirme yaklaşımı olarak ikinci aşama değerlendirme yönteminde, hızlı tarama yöntemi ile karşılaştırıldığında incelenen yapı ile ilgili daha ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyulur. Yapıya ait geometrik bilgilerin ve malzeme özelliklerinin kullanıldığı yöntemin uygulanması ile deprem güvenliği açısından ayrıntılı analiz yöntemlerine göre daha hızlı çözüme ulaşılır. Bu sebeple, birinci adımda hızlı tarama tekniği ile deprem riski açısından öncelikli yapıların belirlenmesi ve ikinci aşama değerlendirme yönteminin riskli gruptaki binalarda uygulanması, afete hazırlık ve yapısal güçlendirme çalışmalarının planlanmasında önemli katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada çok sayıda tarihi yığma yapıya sahip Galata bölgesi için yerel ölçekte deprem riskine sahip binalar sınıflandırılarak elde edilen sonuçlar, deprem hasar senaryolarına doğrudan hizmet edebilir. Yine bu çalışmada elde edilen bölgesel sismik risk dağılım haritası göz önünde bulundurularak risk barındıran binaların daha ayrıntılı değerlendirmesi için başka çalışmalara bir temel sağlayabilir.

4. Kaynaklar

- Achs, G., Adam C. 2012.** Rapid seismic evaluation of historic brick-masonry buildings in Vienna (Austria) based on visual screening. *B. Earthq. Eng.*, 10(6):1833–56. doi:10.1007/s10518-012-9376-5.
- AFAD. Türkiye deprem haritaları interaktif web uygulaması 2020.** <https://tdth.afad.gov.tr/>
- Aldemir, A., Guvenir, E., Sahmaran, M. 2020.** Rapid screening method for the determination of regional risk distribution of masonry structures. *Struct. Saf.*, 85(April): 101959. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2020.101959>
- Batur, A. 2007.** Galata and Pera 1 A short history, urban development architecture and today. *ARI Bulletin of the Istanbul Technical University*, 55(1):1–10.
- Bosco, M., Ferrara, GAF., Ghersi, A., Marinoc, EM., Rossi, PP. 2015.** Seismic assessment of existing R.C. framed structures with in-plan irregularity by nonlinear static methods. *Earthq. Struct.*, 8: 401–422. <https://doi.org/10.12989/eas.2015.8.2.401>
- Brando, G., De Matteis, G., Spacone, E. 2017.** Predictive model for the seismic vulnerability assessment of small historic centres: Application to the inner Abruzzi Region in Italy. *Eng. Struct.*, 153: 81–96. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.10.013>
- Brando, G., Cocco, G., Mazzanti, C., Peruch, M., Spacone, E., Alfaro, C., Tarque, N. 2019.** Structural Survey and Empirical Seismic Vulnerability Assessment of Dwellings in the Historical Centre of Cusco, Peru. *Int. J. Archit Herit*, 00(00): 1–29. <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1685022>
- Chieffo, N., Clementi, F., Formisano, A., Lenci, S. 2019.** Comparative fragility methods for seismic assessment of masonry buildings located in Muccia (Italy). *J. Build. Eng.*, 25(April). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100813>
- D'Ayala, DF., Paganoni S. 2011.** Assessment and analysis of damage in L'Aquila Historic City Centre after 6th April 2009, *B. Earthq. Eng.*, 9(1):81–104. doi:10.1007/s10518-010-9224-4.
- DBYBHY, 2007.** Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik. Ankara, Türkiye.
- FEMA P-154 2015.** Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazard: A handbook.
- Ferreira, TM., Mendes, N., Silva, R. 2019.** Multiscale seismic vulnerability assessment and retrofit of existing masonry buildings. *Bldg.*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/buildings9040091>
- Formisano, A., Florio G., Landolfo R., Mazzolani, FM. 2015.** Numerical Calibration of an Easy Method for Seismic Behaviour Assessment on Large Scale of Masonry Building Aggregates. *Adv. Eng. Softw.*, 80(C):116–38. doi:10.1016/j.advengsoft.2014.09.013.

- Goded, T., Lewis, A., & Stirling, M. 2018.** Seismic vulnerability scenarios of Unreinforced Masonry churches in New Zealand. *B. Earthq. Eng.*, 16(9): 3957–3999. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0351-7>
- Guardiola-Víllora, A., Basset-Salom, L. 2019.** Earthquake risk scenarios of the Ciutat Vella District in Valencia, Spain. *B. Earthq. Eng.*, 18(3): 1-40. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00745-7>
- Hannewald, P., Michel, C., Lestuzzi, P., Crowley, H., Pinguet, J., Fäh, D. 2020.** Development and validation of simplified mechanics-based capacity curves for scenario-based risk assessment of school buildings in Basel. *Eng. Struct.*, 209(February), 110290. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110290>
- Japan International Cooperation Agency (JICA) 2002.** Istanbul Metropolitan Municipality (IMM) 2002. The study on a disaster prevention/mitigation basic plan in İstanbul including seismic microzonation in the Republic of Turkey. Final Report.
- Jiménez, B., Pelà, L., Hurtado, M. 2018.** Building survey forms for heterogeneous urban areas in seismically hazardous zones. Application to the historical center of Valparaíso, Chile. *Int. J. Archit Herit*, 12(7–8): 1076–1111. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1503370>
- JPDPA 2001.** Seismic evaluation and retrofit. The Japan Building Disaster Prevention Association, Tokyo.
- Karaşin, İB., Eren B., Işık E. 2016.** Mevcut bir yiğma yapının farklı hızlı değerlendirme yöntemleri ile değerlendirilmesi, *DUFED*, 5(2): 70-76.
- NRC/IRC 1992.** Manual for screening of buildings for seismic investigation. National Research Council of Canada, Institute for Research in Construction, Ottawa.
- NZSEE 2006.** Assessment and improvement of the structural performance of buildings in earthquakes, New Zealand Society for Earthquake Engineering, Wellington, New Zealand.
- Öncel, AD. 2010.** Apartman: Galata'da Yeni Bir Konut Tipi. Kitap Yayınevi. İstanbul, 422 s.
- RBTE 2013.** Riskli yapıların tespit edilmesine ilişkin esaslar. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Siano, R., Sepe V., Camata G., Spacone, E., Roca, P., Pelà L. 2017.** Analysis of the performance in the linear field of equivalent-frame models for regular and irregular masonry walls. *Eng. Struct.* 145:190–210. doi:10.1016/j.engstruct.2017.05.017.
- Vatan, M., Arun G. 2013.** K Vatan ve Arun, Anıtsal yiğma binalarda ön-değerlendirme yöntemine dayalı risk tespiti. *Megaron*, 2(7): 82-93.
- Zucconi, M., Ferlito, R., Sorrentino, L. 2018.** Simplified survey form of unreinforced masonry buildings calibrated on data from the 2009 L'Aquila earthquake. *B. Earthq. Eng.*, 16: 2877-2911. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0283-7>



Stokes Flow in a Z-Shaped Cavity With Moving Upper Lid

Üst Kapağı Hareketli Z-Şekilli Kavitedeki Stokes Akış

Ebutalib Çelik^{1*} , Murat Luzum² , Ali Deliceoğlu³ 

¹Çanakkale Onsekiz Mart University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Computer Technologies, Canakkale, Turkey

²Van Yüzüncü Yıl University, Science Faculty, Department of Mathematics, Van, Turkey

³Erciyes University, Science Faculty, Department of Mathematics, Kayseri, Turkey

Abstract

Flow patterns and their bifurcation for a steady, viscous, Stokes flow inside a Z-shaped cavity with moving upper lid are investigated. Stokes equation with two parameters h_1 and h_2 which are related to the heights of the field is solved analytically using an infinite series of eigenfunctions. The (h_1, h_2) control space diagram is constructed to examine the new eddy generation, and attention is then focused on the effect of the re-entrant corner on the flow transformation in the Z-shaped domain.

Keywords: Eddy generation, Flow bifurcation, Single-lid, Z-shaped cavity

Öz

Durağan, viskoz, Stokes akış için üst kapağı hareketli Z şekilli bir kaviti içindeki akış modelleri ve çatallanmaları araştırılmıştır. Bölge yükseklikleri ile ilgili iki parametre h_1 ve h_2 olmak üzere Stokes denklemi, öz fonksiyonların sonsuz serisi kullanılarak analitik olarak çözülmüştür. (h_1, h_2) kontrol uzay diyagramı yeni girdap oluşumunu incelemek için oluşturulmuştur ve daha sonra, çıkıntılı köşenin Z-şekilli alandaki akış dönüşümü üzerindeki etkisine odaklanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Girdap oluşumu, Akış çatallanmaları, Tek kapaklı, Z-şekilli kaviti

1. Introduction

Cavity type problems are such evergreen research topic which has been studied for many years in different fields of mathematics and engineering including aerodynamic applications (Olsman and Colonius 2011, Yang et al. 2014), coating flow (Gaskell et al. 1995, Hellebrand 2006), heat transfer (Mahmoodi 2011, Oztop and Dagtekin 2004), biological process (Sheu and Chiang 2014). Lid-driven cavity flow problems are the most common of these topics. Studies on the cavity flow can be categorized into two main issues: computational fluid dynamics (CFD) and qualitative properties of streamlines.


In computational view, there are many studies in the literature on testing new algorithms and numerical methods developed for non-zero Reynolds flow (An et al. 2019,


Botella and Peyret 1998, Bruneau and Saad 2006, Erturk et al. 2005). Recently, (Erturk 2018) solved the 2-D steady incompressible annular cavity flow using an efficient numerical method which can obtain solutions at high Reynolds numbers and compared the results with those in the previous study. (Hriberšek and Škerget 2005) presented new advances in the boundary domain integral method (BDIM) for computation of viscous fluid flows, governed by the Navier–Stokes equations. They tested the accuracy of the new numerical algorithm for several problems, including the standard driven cavity with up to $Re = 10000$, driven an L shaped cavity with up to $Re = 7500$ and flow in a Z shaped channel with up to $Re = 400$.

Studies examining the qualitative properties of the streamline are related to vortex formation, flow bifurcation and local analysis of streamline. For example, (Bakker 1991) used a Taylor series expansion of the velocity vector field to investigate flow topology and structural stability of flow patterns near a critical point on a stationary wall. (Brøns and Hartnack 1999) revealed flow structure near a

*Corresponding author: ecelik@erciyes.edu.tr

Ebutalib Çelik  orcid.org/0000-0002-4500-4465

Murat Luzum  orcid.org/0000-0001-6256-0597

Ali Deliceoğlu  orcid.org/0000-0003-0863-6276

simple degenerate critical points away from boundaries by using normal form transformations which are a tool for eliminating the higher-order terms in the stream functions. (Hartnack 1999) also used the same method for critical points which is closed to a fixed wall. Recently, (Deliceoğlu et al. 2019) made a local analysis of the vector field by simplified the streamlines of the Hamiltonian system using the homotopy invariance of the index theory. Then, as a theoretical framework, they considered an L-shaped cavity with lids moving in the same directions to determine the sequence of flow structures by which eddies are generated.

As a closed flow domain, a rectangular cavity is the most probably preferred due to the simplicity of the application of the boundary conditions. Some of the significant studies included the rectangular cavity is (Gürcan 2003, Gürcan et al. 2003, Gürcan et al. 2006, Shankar 1993). In addition to the rectangular, flow structures and bifurcations in different types of shapes, such as annular, L-shaped, T-shaped, have been of interest. (Gaskell et al. 1997) formulated a boundary value problem which is solved for the stream function ψ for a half-filled annulus. They showed that the flow domain consists of two (one) large eddies (eddy), each having a stagnation point on the centerline for both counter-rotating $S < 0$ and co-rotating $S > 0$ cases. As A and S are varied, there is a change in the flow structure of the stationary point such that it turns into a saddle from a center or vice versa. (Gürcan et al. 2016) analyzed the Stokes flow within the annular region formed by a pair of stationary side walls surrounded by straight lids moving in the opposite direction. They identified that after various flow transformations in the area, the new eddy appeared and was fully developed for $S \in [-1, 0)$ and $A \in [1.6, 6.5)$.

(Deliceoğlu and Aydin 2013) investigated flow transformation and eddy genesis in a steady, viscous L-shaped cavity with the lids moving in opposite directions by Galerkin finite element method with a stabilization technique. They focused on the flow transformation as well as the effect of the corner point on the vortex formation and observed an unprecedented separation bubble around the re-entrant corner point. Also, by taking $Re = 500$, they found that the Reynolds number accelerated the formation of new vortices in the upper part of the cavity. In the following, (Deliceoğlu and Aydin 2014) presented flow patterns formed by varying cavity heights in the L-shaped region with a moving single lid. For $-1.4 < h_1 < 0$ and $0.1 < h_2 < 3.2$, they obtained the (h_1, h_2) parameter space which is formed by the bifurcation curves expressing the

transformation of structure at the critical point. Recently, (Deliceoğlu and Çelik 2019) studied the viscous flow in the T-shaped domain where the upper lid governs the flow. They construct the (h_1, h_2) control space diagram to show new vortex formation scenarios.

In this study, unlike the above geometries, the flow topology in the Z-shaped region with a single lid is examined. To do this, boundary value problem is formed and Stokes equation governing the flow is solved analytically. Flow patterns in the region are obtained by changing the parameters of lower cavity height h_1 and upper cavity height h_2 , and the effect of separating lines near the corner points on the formation of new vortex is investigated.

2. Material and Methods

A two-dimensional Z-shaped cavity with boundary condition is shown in Figure 1. The cavity is filled with an incompressible fluid, and it is assumed that the width of the cavity is fixed and all walls, except the upper lid with horizontal motion, are stationary. The flow is driven by the motion of the upper lid with constant speed $u = 1$. Under the Stokes approximation, the equations of motion reduce to the biharmonic equation for the stream function

$$\frac{\partial^4 \psi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \psi}{\partial y^4} = \nabla^4 \psi(x, y) = 0 \quad (1)$$

The velocity components are obtained by derivatives of stream function ψ

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (2)$$

The no-slip boundary conditions for the upper lid and seven fixed walls can be written by using the relations (2) in terms of derivatives of the stream function as follow:

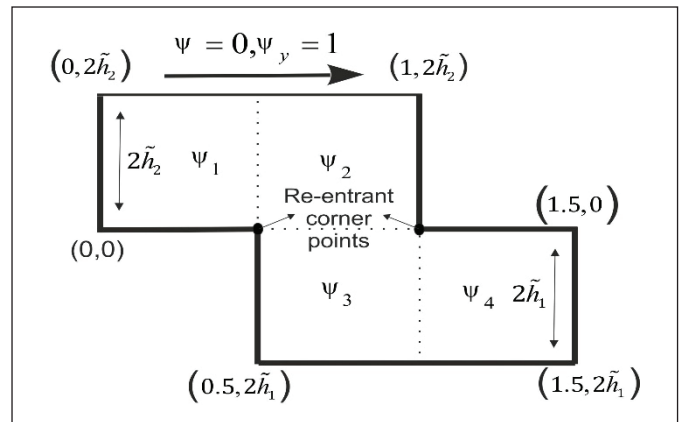


Figure 1. Boundary conditions for a lid-driven Z-shaped cavity.

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial \psi}{\partial y}(x, 2\tilde{h}_2) = 1, (0 \leq x \leq 1), \frac{\partial \psi}{\partial x}(0, y) \\
 & = 0, (0 \leq y \leq 2\tilde{h}_2), \frac{\partial \psi}{\partial y}(x, 0) = 0, (0 \leq x \leq 0.5) \\
 & \frac{\partial \psi}{\partial y}(x, 2\tilde{h}_1) = 0, (0.5 \leq x \leq 1.5), \frac{\partial \psi}{\partial x}(1.5, y) \\
 & = 0, (2\tilde{h}_1 \leq y \leq 0), \frac{\partial \psi}{\partial y}(x, 0) = 0, (1 \leq x \leq 1.5) \\
 & \frac{\partial \psi}{\partial x}(0.5, y) = 0, (2\tilde{h}_1 \leq y \leq 0), \frac{\partial \psi}{\partial x}(1, y) = 0, (0 \leq y \leq 2\tilde{h}_2),
 \end{aligned} \tag{3}$$

The boundary value problem formed for the cavity can be solved analytically or numerically. In this paper, we solve the biharmonic equation using Papkovitch-Fadle eigenfunctions, which arise from the separation of variables. The region is divided into simple sub-regions and the stream function is defined for each sub-region in terms of these eigenfunctions which satisfy all the sidewall conditions. By applying these boundary conditions to the eigenfunctions, a linear equation system consisting of unknown coefficients is obtained.

The stream function for the first region can be written as:

$$\begin{aligned}
 & \psi_1(x, y) \\
 & = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\phi_{a,n}(x)}{\lambda_{a,n}^2} \left(\frac{a_n \sinh(\lambda_{a,n}(y - \tilde{h}_2))}{\sinh(\lambda_{a,n}\tilde{h}_2)} + \frac{b_n \cosh(\lambda_{a,n}(y - \tilde{h}_2))}{\cosh(\lambda_{a,n}\tilde{h}_2)} \right) \\
 & + \frac{\phi_{s,n}(x)}{\lambda_{s,n}^2} \left(\frac{c_n \sinh(\lambda_{s,n}(y - \tilde{h}_2))}{\sinh(\lambda_{s,n}\tilde{h}_2)} + \frac{d_n \cosh(\lambda_{s,n}(y - \tilde{h}_2))}{\cosh(\lambda_{s,n}\tilde{h}_2)} \right) \\
 & + \frac{\xi_{a,n}(y)}{\mu_{a,n}^2} \left(\frac{e_n \sinh(\mu_{a,n}(x - 0.25))}{\sinh(0.25\mu_{a,n})} + \frac{f_n \cosh(\mu_{a,n}(x - 0.25))}{\cosh(0.25\mu_{a,n})} \right) \\
 & + \frac{\xi_{s,n}(y)}{\mu_{s,n}^2} \left(\frac{g_n \sinh(\mu_{s,n}(x - 0.25))}{\sinh(0.25\mu_{s,n})} + \frac{h_n \cosh(\mu_{s,n}(x - 0.25))}{\cosh(0.25\mu_{s,n})} \right).
 \end{aligned} \tag{4}$$

where the functions,

$$\begin{aligned}
 & \phi_{a,n}(x) = s_{a,n}(\sin(s_{a,n})\cos(s_{a,n}(4x - 1)) \\
 & - (4x - 1)\cos(s_{a,n})\sin(s_{a,n}(4x - 1))),
 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 & \phi_{s,n}(x) = s_{s,n}(\cos(s_{s,n})\sin(s_{s,n}(4x - 1)) \\
 & - (4x - 1)\sin(s_{s,n})\cos(s_{s,n}(4x - 1))),
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 & \xi_{a,n}(y) \\
 & = s_{a,n} \left[\begin{aligned} & \sin(s_{a,n})\cos\left(\frac{s_{a,n}(y - \tilde{h}_2)}{\tilde{h}_2}\right) \\ & - \frac{(y - \tilde{h}_2)\cos(s_{a,n})}{\tilde{h}_2}\sin\left(\frac{s_{a,n}(y - \tilde{h}_2)}{\tilde{h}_2}\right) \end{aligned} \right],
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 & \xi_{s,n}(y) \\
 & = s_{s,n} \left[\begin{aligned} & \cos(s_{s,n})\sin\left(\frac{s_{s,n}(y - \tilde{h}_2)}{\tilde{h}_2}\right) \\ & - \frac{(y - \tilde{h}_2)\sin(s_{s,n})}{\tilde{h}_2}\cos\left(\frac{s_{s,n}(y - \tilde{h}_2)}{\tilde{h}_2}\right) \end{aligned} \right],
 \end{aligned} \tag{8}$$

are the symmetric and anti-symmetric eigenfunctions, respectively (Fadle 1940, Papkovich 1970). The sidewall boundary conditions (3) are used to obtain the eigenvalues $s_{a,n}$ and $s_{s,n}$ which satisfy the following equations:

$$\sin(2\lambda_{a,n}) = -2\lambda_{a,n}, \sin(2\lambda_{s,n}) = -2\lambda_{s,n}. \tag{9}$$

The eigenvalues are determined by the Newton iteration procedure described by (Robbins and Smith 1948). Similarly, the stream function can be derived for the other sub-regions. Finally, stream function $\psi(x, y)$ for the domain is given by

$$\psi(x, y) = \psi_1(x, y) + \psi_2(x, y) + \psi_3(x, y) + \psi_4(x, y). \tag{10}$$

This solution procedure was used by (Driesen et al. 1998, Trogdon and Joseph 1982).

3. Results

In this section, the vortex formation mechanism in the Z-shaped cavity with upper-lid moving horizontal directions will be examined. In the next part of the article, for the sake of convenience it is assume that $2\tilde{h}_1 = h_1$ and $2\tilde{h}_2 = h_2$. A lower part of cavity height h_1 and upper part of cavity height h_2 are considered as a parameter. The topological structure of the degenerate critical point within the region changes as the heights of the parameters vary. This transformation occurs from the saddle to the centre or vice versa for incompressible flow and is expressed in terms of flow bifurcation in fluid dynamics.

Using the analytical solution of the Stokes equation in Section 2, a (h_1, h_2) parameter space (bifurcation diagram), which includes the curves representing flow bifurcations is generated (Figure 2). h_1 is fixed, while h_2 is changing or vice versa to obtain all bifurcation curves. It is sufficient to consider parameters in the range of $-2.8 < h_1 < 0.1, 0 < h_2 < 2$, to examine flow transformations which increase the number of vortices in the region. In this range, the parameter space contains a set of the co-dimension-bifurcation curve, and each curve represents the flow bifurcation at degenerate critical points.

3.1. Streamline Topologies Near a Stationary Wall

In the literature, degenerate critical points are classified as simple or non-simple depending on the Jacobian matrix of the velocity field. (Hartnack 1999) studied local flow topology at a simple degenerate critical point which has a singular and non-zero Jacobian matrix. Moreover, he used the generation function to simplify the fourth-order terms of the stream function in the normal form approach. We skip computational ways and only give the following theorem

for the stream function of codimension one. A detailed description of the method is found in (Hartnack 1999).

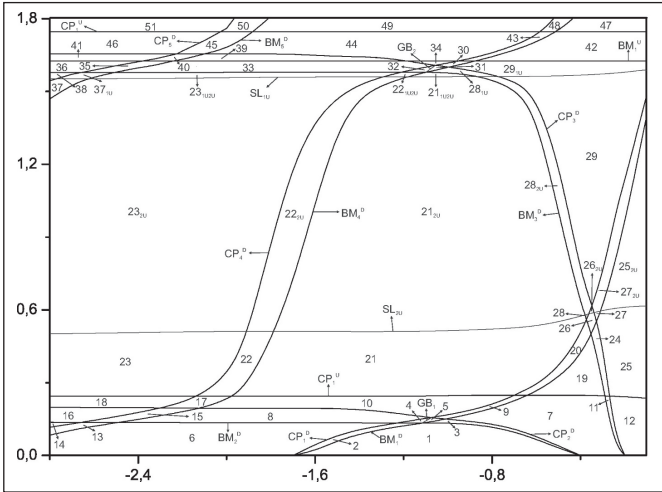


Figure 2. The control space diagram is divided into different regions by bifurcation curves. Flow patterns in Figure 5-7 are correspond to these regions.

Theorem 1: Let ψ is expanded in a power series

$$\psi = y^2 \sum_{i+j=0}^{\infty} a_{i,j+2} x^i y^j \quad (11)$$

Assuming the non-degenerate conditions $a_{0,3} \neq 0, a_{2,2} \neq 0$ a normal form of order 4 for the stream function is

$$\psi = y^2 \left(\sigma y + \mu + \frac{1}{2} x^2 \right) \quad (12)$$

where

$$\sigma = \begin{cases} 1 & \text{for } \frac{a_{2,2}}{a_{0,3}} > 0 \\ -1 & \text{for } \frac{a_{2,2}}{a_{0,3}} < 0 \end{cases} \quad (13)$$

and μ is a transformed small parameters.

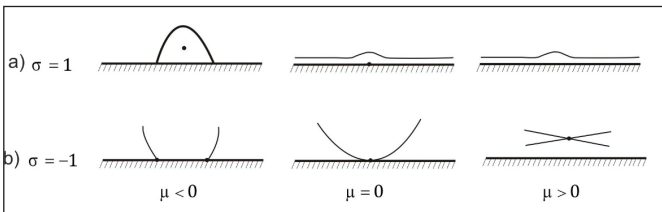


Figure 3. Local streamlines near the wall for a) $\sigma = 1$ b) $\sigma = -1$.

Theorem 2: Let $a_{1,0}, a_{0,1}, a_{2,0}, a_{1,1}$ and $\tilde{a}_{3,0}, \dots, \tilde{a}_{N-1,0}$ be small parameters. Assuming the non-degeneracy conditions $a_{0,2} \neq 0, \tilde{a}_{N,0} \neq 0$ normal formal of order N for the stream function is

$$\psi_N = \frac{\sigma}{2} y^2 + f(x) \quad f(x) = \sum_{i=1}^N c_i x^i \quad c_{N-1} = 0, c_N = \frac{1}{N} \quad (14)$$

where

$$\sigma = \begin{cases} -1 & \text{for } N \text{ even and } a_{0,2}/\tilde{a}_{N,0} < 0 \\ 1 & \text{for } N \text{ even and } a_{0,2}/\tilde{a}_{N,0} > 0 \text{ or } N \text{ odd} \end{cases} \quad (15)$$

and $c_i, i = 1, \dots, N - 2$ are transformed small parameters.

3.2 Forming Control Space Diagram and Eddy Generation

The curves in the control space diagram are named according to the bifurcation type. The lower index shows the number of bifurcation, while the upper index indicates the place which part of the cavity bifurcation occurs (Up or Down). Three types of flow bifurcation, one on the wall and the others inside the flow, are observed during the study flow bifurcation. The first type, the two saddle points on the wall approach and, then coalesce with each other at one point on the wall to produce a saddle in the flow (Figure 3-(b)). This bifurcation is shown in the diagram by BM (bubble merging). The second type of bifurcation occurs inside the flow where the degenerate critical point is bifurcated to a saddle with a centre point (Figure 4). This type of bifurcation is called CP (cusp-bifurcation). Sometimes the topological structure of the flow transformation to another form, but there is no change in the number of critical points, such transformations are labelled with GB (global). All curves divide the bifurcation diagram (h_1, h_2) into 51 different regions as shown in Figure 2, and all flow patterns in each region are shown in the Figure 5-7.

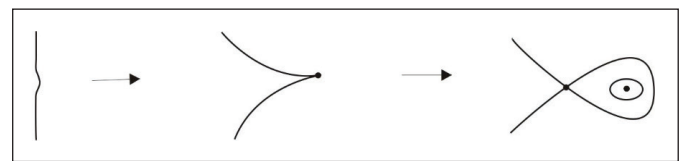


Figure 4. Bifurcation series of the degenerate point inside the flow for $N = 3$ in Eq. (14).

This study aims to show how critical points turn into vortex after a series of structural bifurcations. For example, the lower region numbered with (1) contains one large vortex with inner separatrix. By changing the parameters, h_1 and h_2 , the lower corner vortices combine to form a new separatrix structure along the BM curve (zone 2). When h_2 is fixed and moved to zone 6, this structure leaves its place in the vortex after CP_1 bifurcation. This basic transformation series is exactly equivalent to the series obtained by (Gürcan 2005) for the rectangular cavity with the upper

lid. However, unlike the rectangular cavity, surprisingly, the same bifurcation series also occurs on the right wall of the lower region ($1 \rightarrow 3 \rightarrow 7$). After the same sequence of

bifurcations, the vortices on the bottom wall or the right wall generates a full vortex with the corners at the lower part of cavity. These bifurcation are shown in Figure 8.

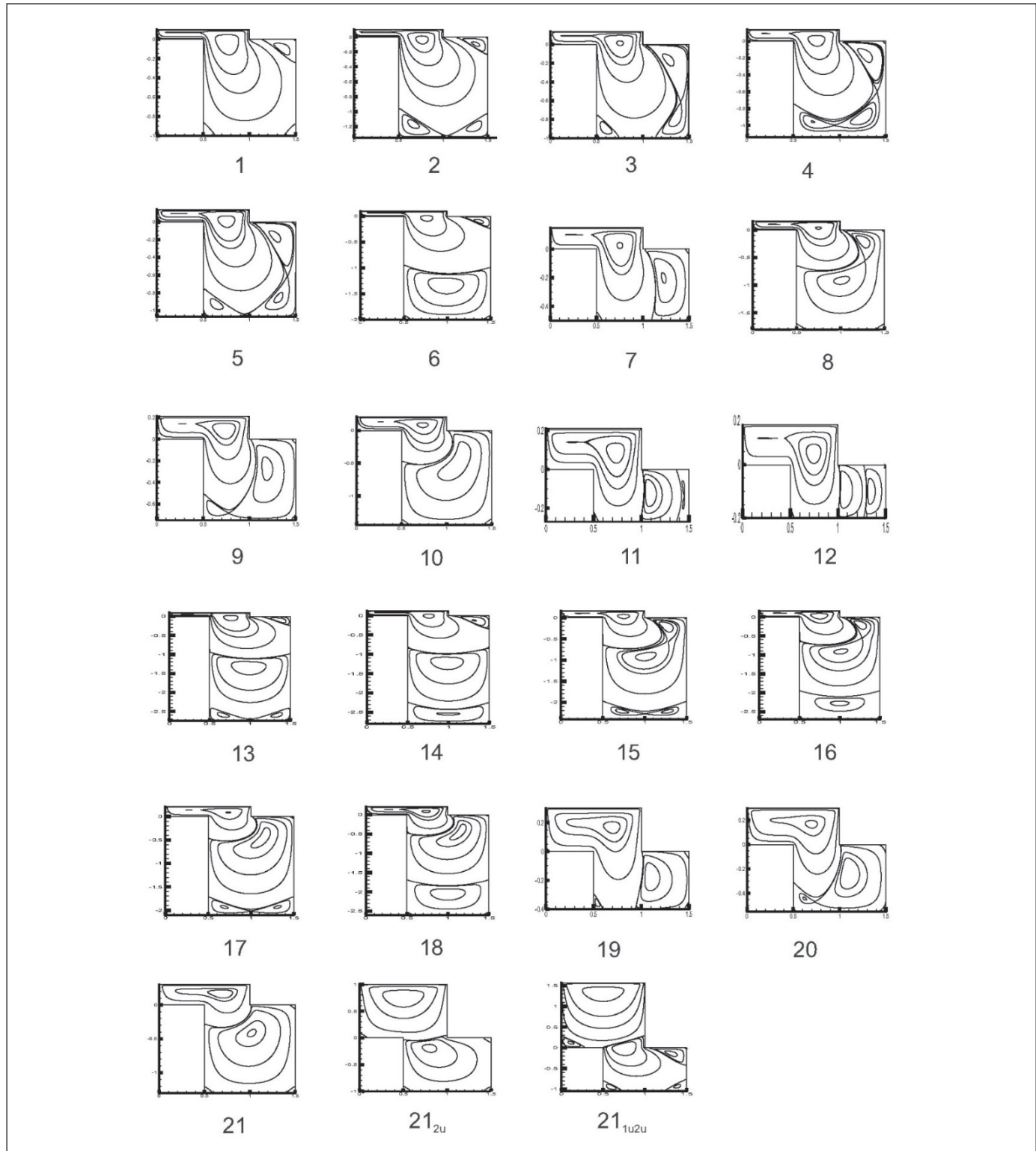


Figure 5. Schematic representation of the streamlines formed in each region in the control space diagram.

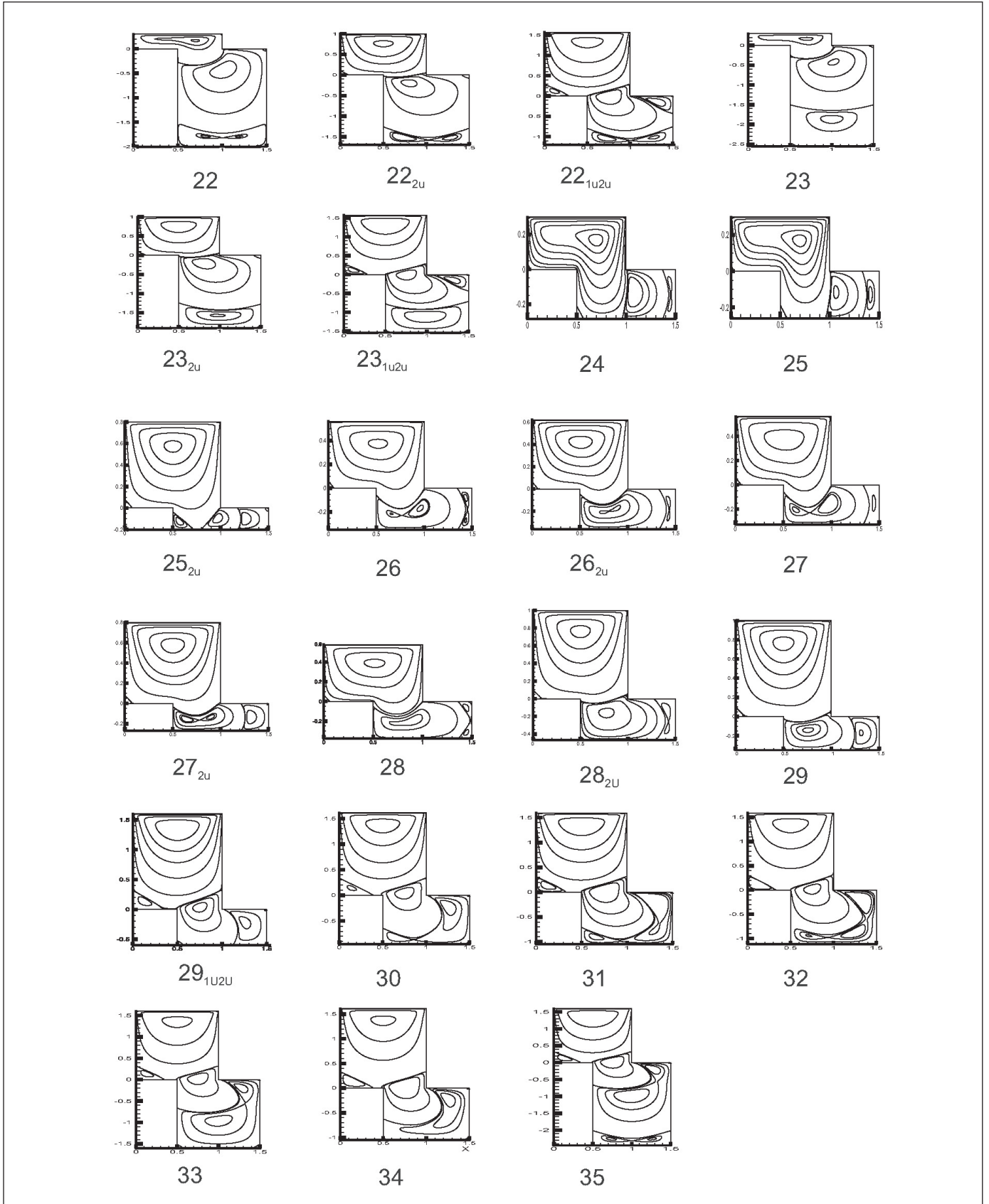


Figure 6. Schematic representation of the streamlines formed in each region in the control space diagram (continued).

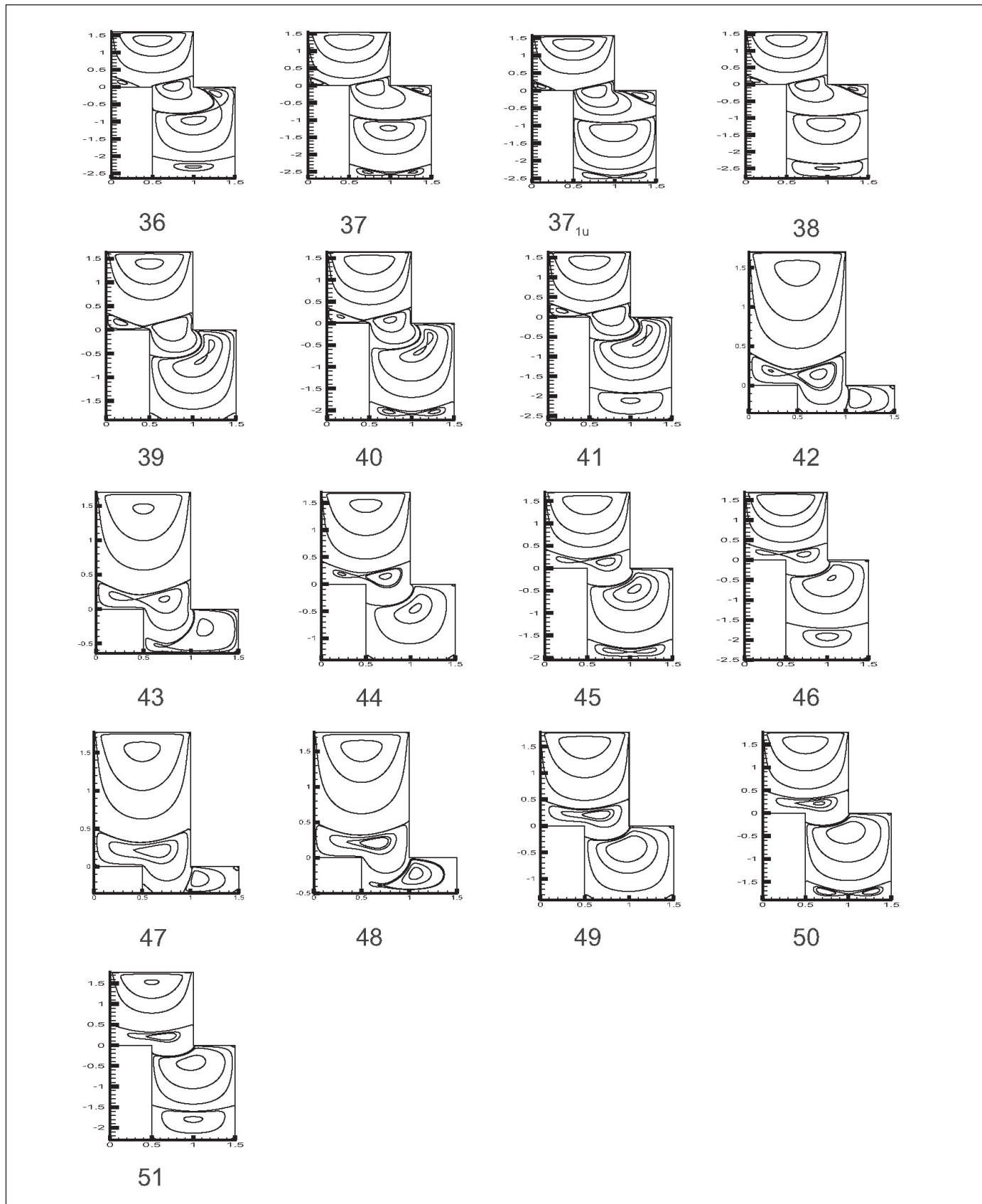


Figure 7. Schematic representation of the streamlines formed in each region in the control space diagram (continued).

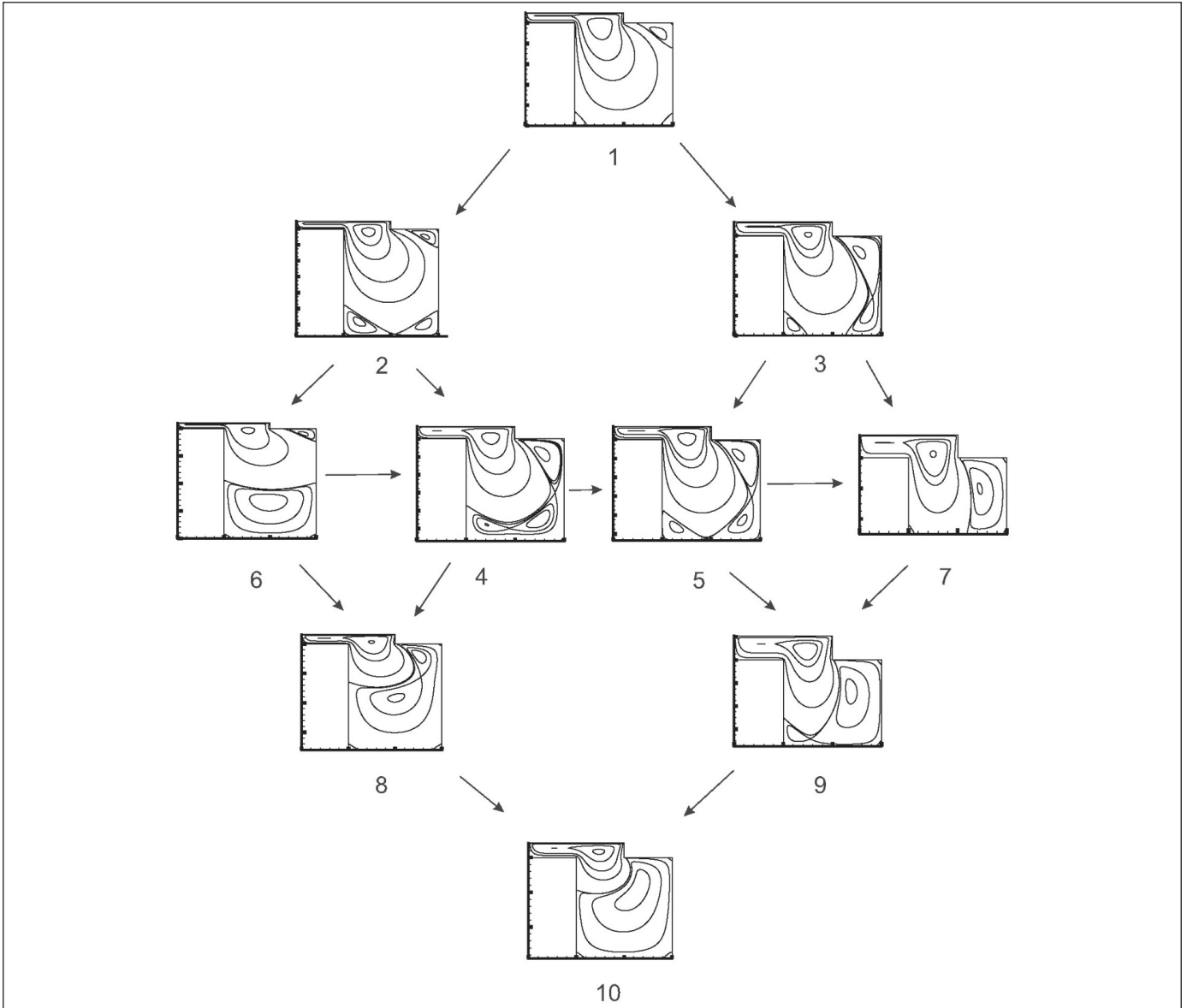


Figure 8. Eddy generation at the lower part of the cavity by increasing h_1 .

Let us continue to examine the control space diagram by studying the role of the right corner point in the vortex formation. First, there are two primary vortices in the domain, and the separation line is on the horizontal wall (Figure 9-(19)). Flow transformation (19 → 24 → 25) shows that the lower-right part of the cavity acts as a rectangular cavity. Just before the separation line crosses the corner point, it joins with the left-lower corner vortex of the cavity to form a separatrix. After the separation line crosses the corner point, the value of $h_2 \approx -0.55$, the separatrix in the region leaves its place in a full vortex, and the vortex formation is completed at the bottom of the cavity (Figure 9).

So far, the separation line is below the left corner, and new vortices are formed in the lower-middle part of the cavity. When the h_2 is fixed and moved horizontally between zones (29-37) in the diagram, structural bifurcation occurs at the bottom of the cavity. In the control space, when h_1 is fixed, and h_2 is increased, the bifurcation curve $SL_{1,1'}$ which refers to the separation line passing the corner point, is first seen. This indicates that the separation line crosses the corner point before the changes in topological structure over the upper part of the cavity. Indeed, when the parameter space is examined, the separation line crosses the corner point firstly and then joins with the corner vortex on the upper cavity.

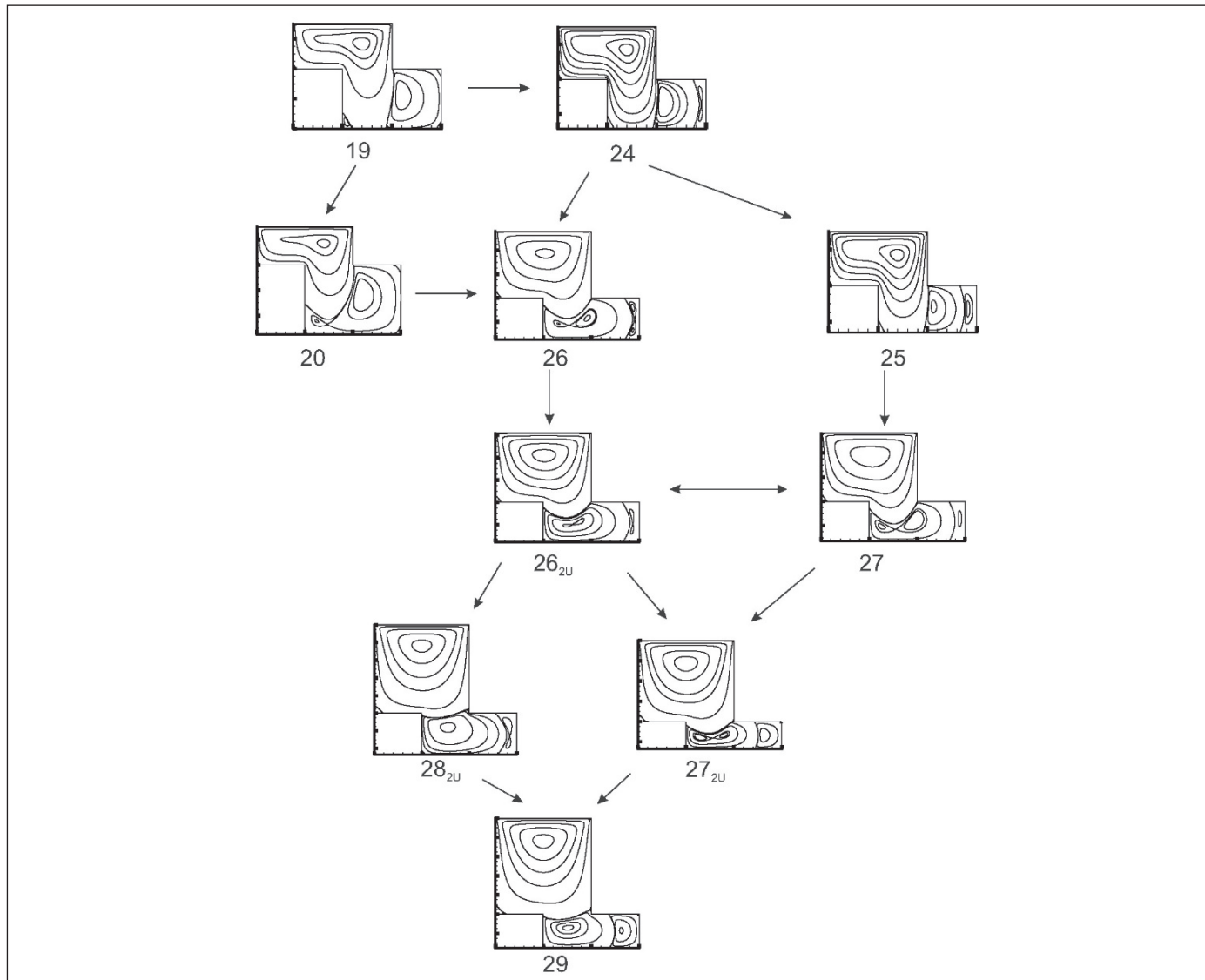


Figure 9. The role of the separation line on the effect of eddy formation.

This value is constant regardless of h_1 and is approximately $h_2=1.626$. When the length of the upper part of the cavity is further increased, the number of vortices in the upper part increased to two after cusp bifurcation (CP_1^U).

4. Discussion

In this study, we consider Stokes flow over Z-shaped cavity with moving upper lid. The matching biorthogonal eigenfunction expansions method which is used by (Trogon and Joseph 1982, Driesen et. al 1998) for rectangular slot, (Phillips 1989) for contraction geometry and (Deliceoğlu and Aydın 2014) for L-shaped cavity is applied here for the first time for the Z-shaped cavity. Then, flow structures occurring in the region by changing the height of the Z-shaped cavity are presented. The (h_1, h_2) control space

diagram was generated for $-2.8 < h_1 < 0.1, 0 < h_2 < 2$. The flow transformations in the cavity and the new vortex formation mechanism were examined by taking sections from different parts of the control space diagram. It is concluded that there is no new vortex in the upper part of the cavity unless the separation line exceeds the left corner point. It is surprising that after crossing the corner point of the separation line, the saddle-node bifurcation on the wall remains almost the same value $h_2=1.62$, regardless of h_1 . This value is the same as that obtained for rectangular (Gürcan 2005) and L-shaped (Deliceoğlu and Aydın 2014) cavities with a single lid-driven by uniform motion. Thus, it was shown that this change in the shape of the flow field does not affect the formation of the vortex in the upper part of the cavity.

5. References

- An, B., Bergada, J.M., Mellibovsky, F. 2019.** The lid-driven right-angled isosceles triangular cavity flow. *J. Fluid Mech.*, 875(9), 476–519. <https://doi.org/10.1017/jfm.2019.512>
- Bakker, P.G. 1991.** Bifurcations in Flow Patterns. *In Kluwer*. <https://doi.org/10.1017/S0022112093211624>
- Botella, O., Peyret, R. 1998.** Benchmark Spectral Results on the Lid Driven Cavity Flow. *Comput. Fluids*, 27(4), 421–433. [https://doi.org/10.1016/S0045-7930\(98\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0045-7930(98)00002-4)
- Brøns, M., Hartnack, J. N. 1999.** Streamline topologies near simple degenerate critical points in two-dimensional flow away from boundaries. *Phys. Fluids*, 11(2), 314–324. <https://doi.org/10.1063/1.869881>
- Bruneau, C.H., Saad, M. 2006.** The 2D lid-driven cavity problem revisited. *Comput. Fluids*, 35(3), 326–348. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2004.12.004>
- Deliceoğlu, A., Aydın, S.H. 2013.** Flow bifurcation and eddy genesis in an L-shaped cavity. *Comput. Fluids*, 73, 24–46. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2012.12.008>
- Deliceoğlu, A., Aydın, S.H. 2014.** Topological flow structures in an L-shaped cavity with horizontal motion of the upper lid. *J. Comput. Appl. Math.*, 259(PART B), 937–943. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2013.10.007>
- Deliceoğlu, A., Bozkurt, D., Çelik, E. 2019.** Flow topology in an L-shaped cavity with lids moving in the same directions. *Math. Methods Appl. Sci.*, 43(15), 8317–8326. <https://doi.org/10.1002/mma.5972>
- Deliceoğlu, A., Çelik, E. 2019.** A Mechanism of Eddy Generation in A Single Lid-Driven T-Shaped Cavity. *Cumhuriyet Science Journal*, 40(3), 583–594. <https://doi.org/10.17776/csj.569655>
- Driesen, C. H., Kuerten, J.G.M., Streng, M. 1998.** Low-Reynolds-number flow over partially covered cavities. *J. Eng. Math.*, 34(1–2), 3–21. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1564-5_1
- Erturk, E. 2018.** Benchmark solutions of driven polar cavity flow at high Reynolds numbers. *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, 9(8), 776–786. Article ID: IJMET_09_08_084
- Erturk, E., Corke, T.C., Gökçöl, C. 2005.** Numerical solutions of 2-D steady incompressible driven cavity flow at high Reynolds numbers. *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 48(7), 747–774. <https://doi.org/10.1002/fld.953>
- Fadle, J. 1940.** Die Selbstspannungs-Eigenwertfunktionen der quadratischen Scheibe. *Ingenieur-Archiv*, 11(2), 125–149. <https://doi.org/10.1007/BF02084699>
- Gaskell, P.H., Savage, M.D., Summers, J.L., Thompson, H.M. 1995.** Modelling and analysis of meniscus roll coating. *J. Fluid Mech.*, 298(11), 113–137. <https://doi.org/10.1017/S0022112095003247>
- Gaskell, P.H., Savage, M.D., Wilson, M. 1997.** Stokes flow in a half-filled annulus between rotating coaxial cylinders. *J. Fluid Mech.*, 337(4), 263–282. <https://doi.org/10.1017/S0022112097005028>
- Gürçan, F. 2003.** Effect of the Reynolds number on streamline bifurcations in a double-lid-driven cavity with free surfaces. *Comput. Fluids*, 32(9), 1283–1298. [https://doi.org/10.1016/S0045-7930\(02\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0045-7930(02)00084-1)
- Gürçan, F., Bilgil, H., Şahin, A. 2016.** Bifurcations and eddy genesis of Stokes flow within a sectorial cavity PART II: Co-moving lids. *Eur. J. Mech. B. Fluids*, 56, 200–210. <https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2015.02.008>
- Gürçan, F., Gaskell, P.H., Savage, M.D., Wilson, M.C.T. 2003.** Eddy genesis and transformation of Stokes flow in a double-lid driven cavity. *Proc. Inst. Mech. Eng. C J. Mech. Eng. Sci.*, 217(3), 353–363. <https://doi.org/10.1243/095440603762870018>
- Gürçan, F., Wilson, M.C.T., Savage, M.D. 2006.** Eddy genesis and transformation of Stokes flow in a double-lid-driven cavity. Part 2: Deep cavities. *Proc. Inst. Mech. Eng. C J. Mech. Eng. Sci.*, 220(12), 1765–1773. <https://doi.org/10.1243/0954406JMES279>
- Gürçan, F. 2005.** Streamline topologies near a stationary wall of Stokes flow in a cavity. *Appl. Math. Comput.*, 165(2), 329–345. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2004.06.017>
- Hartnack, J. N. 1999.** Streamline topologies near a fixed wall using normal forms. *Acta Mech.*, 136(1), 55–75. <https://doi.org/10.1007/BF01292298>
- Hellebrand, H. 2006.** Tape Casting. *Mater. Sci. Technol.* (eds R.W. Cahn, P. Haasen and E.J. Kramer) <https://doi.org/10.1002/9783527603978.mst0192>
- Hriberšek, M., Škerget, L. 2005.** Boundary domain integral method for high Reynolds viscous fluid flows in complex planar geometries. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 194(39–41), 4196–4220. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2004.11.002>
- Mahmoodi, M. 2011.** Numerical simulation of free convection of a nanofluid in L-shaped cavities. *Int. J. Therm. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2011.04.009>
- Olsman, W.F.J., Colonius, T. 2011.** Numerical simulation of flow over an airfoil with a cavity. *AIAA Journal*, 49(1), 143–149. <https://doi.org/10.2514/1.J050542>
- Oztop, H.F., Dagtekin, I. 2004.** Mixed convection in two-sided lid-driven differentially heated square cavity. *Int. J. Heat Mass Transfer.*, 47(8–9), 1761–1769. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2003.10.016>
- Papkovich, P.F. 1970.** Über eine Form der Lösung des byharmonischen Problems für das Rechteck. *Dokl. Acad. Sci. USSR.*, 27, 334–338.

- Phillips TN. 1989**, Singular Matched Eigenfunction Expansions for Stokes Flow around a Corner, *IMA J. Appl. Math.*, 42(1), 13–26. <https://doi.org/10.1093/imamat/42.1.13>
- Robbins, CI., Smith, RCT. (1948)**. CXIX. A table of roots of $\sin Z = -Z$. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 39(299), 1004–1005. <https://doi.org/10.1080/14786444808521711>
- Shankar, PN. 1993**. The eddy structure in stokes flow in a cavity. *J. Fluid Mech.*, 250, 371–383. <https://doi.org/10.1017/S0022112093001491>
- Sheu, TWH., Chiang, CY. 2014**. Numerical investigation of chemotactic phenomenon in incompressible viscous fluid flow. *Comput. Fluids*, 103, 290–306. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2014.07.023>
- Trogon, SA., Joseph, DD. 1982**. Matched eigenfunction expansions for slow flow over a slot, *J. Nonnewton Fluid Mech.*, 10(3–4), 185–213. [https://doi.org/10.1016/0377-0257\(82\)80001-3](https://doi.org/10.1016/0377-0257(82)80001-3)
- Yang, G., Sun, J., Liang, Y., Chen, Y. 2014**. Effect of Geometry Parameters on Low-speed Cavity Flow by Wind Tunnel Experiment. *AASRI Procedia*, 9, 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.aasri.2014.09.009>



Klorantraniliprol İndüklü Toksisitenin *Oreochromis niloticus* Solungaç İyon Taşınım Enzim Aktivitelerine Etkileri

Effects of Chlorantraniliprole-Induced Toxicity on Oreochromis niloticus Gill Ion Transport Enzyme Activities

Özge Temiz^{1*}, Tüzin Aytekin², Hikmet Y. Çoğun³, Ferit Kargın⁴

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Osmaniye, Türkiye

²Çukurova Üniversitesi İmamoğlu Meslek Yüksek Okulu Adana, Türkiye

³Çukurova Üniversitesi Ceyhan Veteriner Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye

⁴Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Adana, Türkiye

Öz

Diamid türü bir insektisit olan klorantraniliprol tarım uygulamalarında çok kullanılan, zararlılarda iyonoregülasyon sistemini bloke eden, toksik özelliği ile etkinlik gösteren bir pestisittir. Bu çalışmada klorantraniliprol, 1 ppm ve 2 ppm konsantrasyonlarının etkisinde *Oreochromis niloticus* solungaç dokularında iyon transport enzim aktivitelerine üzerine etkileri 7 gün süre ile araştırılmıştır. Araştırmamızda elde edilen sonuçlar solungaç dokusunda klorantraniliprol 7 gün süreyle etkisinde Na⁺/K⁺-ATPaz enzim aktivitesinin kontrol grubuna göre 1 ppm ve 2 ppm konsantrasyonlarında sırasıyla % 61 ve % 65 azalma gösterdiği belirlendi. Klorantraniliprol maruziyetinde, kontrol grubuna göre 1 ppm ve 2 ppm konsantrasyonlarında sırasıyla Ca²⁺-ATPaz enzim aktivitesinde %68 ve %76, Mg²⁺-ATPaz enzim aktivitesinde %28 ve %44 azalma olduğu belirlendi. Çalışmanın sonuçları, *Oreochromis niloticus* balıklarının iyon regülasyon sisteminin, klorantraniliprol'un etkisinde iyi bir biyobelirteç olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: ATPaz enzimleri, Klorantraniliprol, *Oreochromis niloticus*, Solungaç

Abstract

Chlorantraniliprole, a diamide type insecticide, is a pesticide that is very used in agricultural applications, in this sense, it causes toxicity of the ionoregulation system against pests and is effective with its toxic feature. In this study, the effects of chlorantraniliprole, 1ppm and 2 ppm concentrations on ion-transporting enzyme activity in *Oreochromis niloticus* gill tissues were investigated for 7 days. The results obtained in our study showed that Na⁺/K⁺-ATPase enzyme activity showed a 61% and 65% reduction in concentrations of 1 ppm and 2 ppm, respectively, in the effect of chlorantraniliprole in gill tissue for 7 days. In the exposure to chlorantraniliprole, it was determined that there was a 68% and 76% decrease in Ca²⁺-ATPase enzyme activity and 28% and 44% in Mg²⁺-ATPase enzyme activity at concentrations of 1 ppm and 2 ppm compared to the control group. The results of the study show that the ion regulation system of *Oreochromis niloticus* are a biomarker in the effect of chlorantraniliprole.

Keywords: ATPases enzymes, Chlorantraniliprole, *Oreochromis niloticus*, Gill

1. Giriş

Pestisit uygulamaları, modern tarım sistemlerinde ve halk sağlığı programlarında zararlı kontrolünde kullanımıyla

beraberinde çevre ve insan sağlığı üzerinde toksik etki oluşturabilen kimyasal grubudur. Tarım uygulamaları sonucunda sucul organizmalar ve besin zinciri ile insanlara kadar ulaştığında biyokimyasal özelliklerine göre biyolojik olarak birikebilmektedir. Deney hayvanları ile yapılan araştırmalarda pestisitlerin biyotransformasyonu, birikimi veya atılımı üzerine yapılan araştırmalar da, bu kimyasalların organ/doku sistemleri üzerindeki toksik etkilerini anlamak temel hedeftir (Stahl vd. 2009). Yeni sınıf pestisit olan

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

Özge Temiz orcid.org/0000-0003-0668-5744

Tüzin Aytekin orcid.org/0000-0003-2666-0798

Hikmet Y. Çoğun orcid.org/0000-0001-6559-4397

Ferit Kargın orcid.org/0000-0003-4315-5689

antranilik diamid grubundan klorantraniliprol, yüksek toksik etkisiyle zararlıları bertaraf eder. Zararlılar üzerinde etkisini Ca^{+2} iyonunun düzensiz salınımı sayesinde yetersiz kalan Ca^{+2} düzeyleri ile kas kasılmalarına ve felç sonucu zararlının ölümüne sebep olmaktadır (Lahm vd. 2005, 2009, Sattelle vd. 2008). Akuatik sistem üzerinde oluşan olumsuz etkinin belirlenmesinde balık türleri biyoindikator olarak araştırmalarda geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Pestisitlerin toksik etkilerinin belirlenmesinde canlılarda, fizyolojik ve biyokimyasal biyobelirteçlerde oluşan değişimler ile belirlenmektedir (Webb vd. 2005, Dellali vd. 2010).

Balıklar, sucul ekosistemde kirleticilere ilk olarak solungaçları ile maruz kalmaktadır. Solungaçlar balıkta gaz alışverişi için kritik rol oynamaktadır. Gaz alışverişinde dolayı iyonoregülasyon enzimleri biyomarkır olarak toksisitenin ve kirliliğin belirlenmesinde önemli rol almaktadır (Ciacci vd. 2012, Pałecz vd. 2005). İyon regülasyonu sağlayan adenosin trifosfatlar (ATPazlar; Na^{+}/K^{+} , Mg^{2+} , Ca^{2+}), hücre metabolizması için gerekli iyonların alımı ve taşınımında önemli rol oynayan enzimlerdir. Na^{+}/K^{+} -ATPaz enzimi, hücre membranında katyon iyonlarının geçişi ve hücre duvar potansiyelinin bütünlüğünü sağlayan önemli bir enzimdir. Ca^{2+} ve Mg^{+2} ATPaz enzimleri, hücrede membran bütünlüğünün sağlanması ve Ca^{2+} , Mg^{+2} iyon taşınımından sorumlu olan yapısal iyonoregülasyon enzimleridir (Parvez vd. 2006).

Toksik kimyasalların etkisinde, selüler aktivitenin biyoindikatoru olarak araştırmalarda kullanılmaktadır (Pałecz vd. 2005, Vijayavel vd. 2007). Araştırmamızda, *O. niloticus* solungaç dokusunda klorantraniliprol maruziyetinde oluşan toksik etkinin 7 gün etkide 1ppm ve 2 ppm konsantrasyonlarında iyon regülasyon enzimlerinin aktivitelerinde değişiklikler araştırılmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

Deneylerde kullanılan *O. niloticus*, Çukurova Üniversitesi balık yetiştirme çiftliğinden alınarak deney ortamıyla aynı şartlarda olan laboratuvar ortamında 2 hafta boyunca akklimatize edildi. Deneylerde kullanılan *O. niloticus* türünün ortalama boyu $11,5 \pm 0,77$ cm, ağırlığı ise $27,8 \pm 1,74$ gr olarak ölçülmüştür. $40 \times 40 \times 40$ cm boyutta cam akvaryumlar dinlendirilmiş musluk suyu ile 40 L doldurulmuş ve akvaryumlarda merkezi sistem ile havalandırma yapılmıştır. Laboratuvar ortamında 12/12 saat fotoperiyodik periyodu uygulanmıştır. Deneyde kullanılan akvaryum su kalitesi parametreleri; sıcaklık 22 ± 2 °C, pH $6,72 \pm 0,61$, çözünmüş oksijen $6,64 \pm 0,34$ mg/L, alkalinite 239 mg/L $CaCO_3$ ve sertlik 271 mg/L $CaCO_3$ olarak belirlenmiştir. Balıklar

günde iki kez ağırlıklarının %3'si kadar hazır yem ile beslenmişlerdir (Pınar, Türkiye). Kontrol akvaryumuyla birlikte yürütülen deneylerde toksik kimyasal olan klorantraniliprol Coragen 20SC ticari adıyla DuPont şirketinden alındı ve toksik konsantrasyonlar olan 1 ppm ve 2 ppm konsantrasyonlarda hergün taze olarak hazırlandı. Deney akvaryumlarına rastgele 6 balık bırakılarak, toplamda 3 akvaryum ile araştırma yürütülmüştür. Toksik deneylerde kimyasal miktarında azalmayı önlemek amacıyla 24 saat aralıklarla su değişimi ve toksik madde eklemesi yapılmıştır. 7. günün sonunda dekapitasyon yöntemiyle öldürülen balıklardan solungaç dokuları disekte edilerek çıkarılmıştır (n=6). Solungaç dokusu fizyolojik tuz çözeltisi (%0.59 NaCl) ile yıkandıktan sonra biyokimyasal analizler yapılanaya kadar -80 °C'ye kaldırılmıştır. Solungaç dokusu %1,17 KCl içeren pH 7,4, 0,1M sodyum-fosfat tamponunda, 1/10 oranında seyreltilerek 4 dk homojenize edilmiştir. Homojenatların +4 °C'de 16000 rpm'de 20 dakika santrifüjden sonra elde edilen süpernatant Na^{+}/K^{+} , Ca^{2+} ve Mg^{+2} ATPaz enzimleri (Atkinson vd. 1973) ve protein (Bradford, 1976) miktarlarının spektrofotometrik yöntemlerle her örnek için 2 tekrarlı okuma yapılarak belirlenmiştir. İstatiksel analizler deneylerden elde edilen veriler ile SPSS 22.0 programında Oneway ANOVA Duncan testi kullanılarak $p < 0.05$ önem derecesinde hesaplanmıştır.

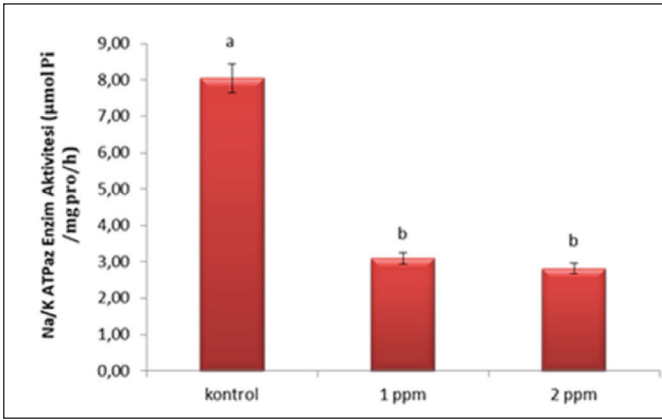
3. Bulgular ve Tartışma

Pestisitler tarım alanı, hayvancılık ve ev zararlılarına karşı üretilen ve geniş bir spektrumda kullanılan kimyasal grubudur. Bu alanlarda kullanımı ile drenaj ve sulama yoluyla sucul organizmalara ulaşımı sonucu ekolojik zincirde önemli yer tutan balıklar üzerinde ölümcül etkilere yol açmaktadır. Yapılan çalışmalarda balıklarda pestisitlere maruziyetin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerde önemli değişimlere neden olduğu bildirilmiştir (Narra vd. 2017).

Solungaç dokusu balık türlerinde oksijen alımı için birincil bölgedir ve solunumla ilgili enerji metabolizması için anahtar bir rol oynar (Nilsson vd., 2012). Solungaç dokusunda hücre metabolik süreçlerinde enerji ihtiyacının karşılanması, solungaçlarda adenosin trifosfatın (ATP) sentezine ve iletilmesine bağlıdır. Hücre zarında bulunan Na^{+}/K^{+} -ATPaz enzim aktivitesinin normal işlevi için ATP gereklidir. Na^{+}/K^{+} -ATPaz, monovalent katyonların (Na^{+} ve K^{+}) zar boyunca aktif taşınmasında önemli bir rol oynar (Jorgensen vd., 2003). Na^{+}/K^{+} -ATPaz enzimi organizmalarda hücresel düzeyde iyon regülasyonunu sağlayan temel membran enzimlerinden biridir (Davis ve Wedemeyer, 1971, Stagg ve Shuttle Worth, 1982, Temiz vd. 2018).

Araştırımızda klorantraniliprole 7 gün boyunca maruz kalan *O. niloticus* solungaç dokusunda Na⁺/K⁺-ATPaz enzim aktivitesinde kontrol grubuna göre 1 ppm ve 2 ppm uygulamalarında % 61 ve % 65 azalma olduğu belirlenmiştir (şekil 1).

Klorantraniliprol etkisi, Na⁺/K⁺-ATPaz aktivitesi üzerindeki inhibisyonun bir sonucu olarak ATP retimi, kullanımının ve bölgeler arasındaki iletimin inhibe olmasına sebep olmaktadır. Bulgularımız, iyon regülasyon sisteminde oluşan hasar ile solungaç dokularında klorantraniliprol maruziyeti sonucunda oksidatif stres oluşturabileceğini ve hüresel bütünlüğün bozulmasında rol oynayacağını göstermiştir.



şekil 1. Klorantraniliprol'n farklı derişimlerinin etkisine bırakılan *O. niloticus*'da solungaç Na⁺/K⁺- ATPaz aktivitesine etkisi.

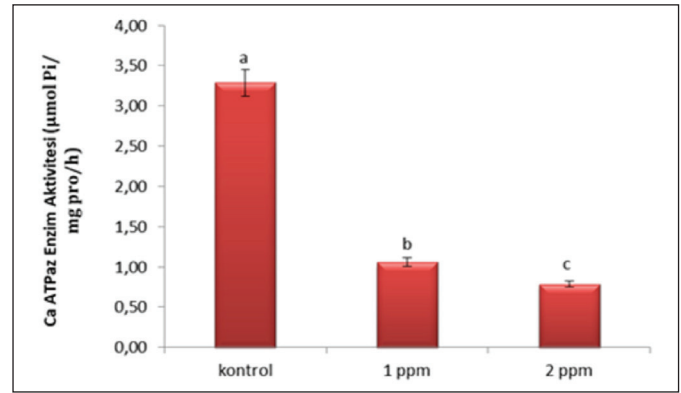
Organofosfatlı pestisit monocrotophos maruziyetinde *Channa punctata* dokularında, Na⁺/K⁺-ATPaz enzim aktivitesinin solungaç (70%)>böbrek (63%)>beyin (57%)>bağırsak (52%)>karaciğer (50%)>kas (47%)> kalp (44%) dokularında azalma olduğu bildirilmiştir. Na⁺/K⁺-ATPaz enzim aktivitesinin farklı dokulardaki inhibisyonu toksik maddenin maruziyetinin süresine ve uygulanan konsantrasyona bağlı olarak enzim aktivitesinde inhibisyon olduğu bildirilmiştir (Agrahari vd., 2008). Cypermethrin maruziyetinde *Cyprinus carpio* dokularında benzer şekilde Na⁺/K⁺- ATPaz enzim aktivitesinde önemli bir azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Suvetha vd. 2010). Na⁺/K⁺-ATPaz aktivitesinin toksik maddenin çeşidine ve konsantrasyonuna göre değişebileceği belirlenmiştir (Boyle vd. 2013).

Ca²⁺-ATPaz, zar boyunca kalsiyum iyonunun taşınması ve hre içi kalsiyum iyonu homeostazından sorumludur. Enzim zar boyunca Ca²⁺ dengesini korur (Evans vd. 2005).

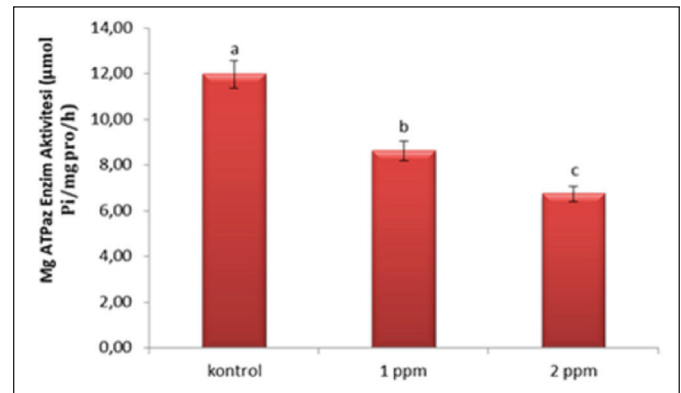
Mg²⁺-ATPaz, Mg²⁺ iyon geçişi ve hrede zar bütünlüğünü sağlayan enzimdir. Ayrıca iyon geçirgenliğinin kontrolünde önemli bir görev üstlenmektedir (Parvez vd. 2006).

Araştırımızda klorantraniliprol maruziyetinde, 7 gün etki sresinde *O. niloticus* solungaç dokusunda kontrol grubuna göre 1 ppm ve 2 ppm uygulamalarında Ca²⁺-ATPaz enzim aktivitesinde % 68 ve % 76, Mg²⁺-ATPaz enzim aktivitesinde %28 ve %44 azalma olduğu belirlenmiştir (şekil 2, 3).

Akut ve konik sürede uygulanan klorantraniliprol maruziyetinde *O. niloticus* solungaç ve kas dokularında Ca²⁺-ATPaz ve Mg²⁺-ATPaz enzim aktivitelerinde bütün konsantrasyonların maruziyetinde (0,5, 1,5 ve 3,0 mg/L) ve zamana bağlı olarak inhibisyon olduğu raporlanmıştır (Temiz vd.2018).λ-cyhalothrin sublethal doz maruziyetinde, *Prochilodus lineatus* solungaç dokularında Ca²⁺-ATPaz ve Mg²⁺-ATPaz enzim aktivitelerinde kontrole göre azalma olduğu bildirilmiştir (Vieira ve dos Reis Martinez 2018).



şekil 2. Klorantraniliprol'n farklı derişimlerinin etkisine bırakılan *O. niloticus*'da solungaç Ca²⁺-ATPaz aktivitesine etkisi.



şekil 3. Klorantraniliprol'n farklı derişimlerinin etkisine bırakılan *O. niloticus*'da solungaç Mg²⁺-ATPaz aktivitesine etkisi.

Solungaç dokusu pestisitler gibi kirleticilerden en fazla etkilenen dokulardan biridir. Bunun sebebi solungaç dokusunun, sucul ortam ile direkt temasta olması ve kan sirkülasyonu sonucunda yüksek absorpsiyon yapısı ile solungaç fibrillerinde kirleticilerin birikim gösterdiği bildirilmiştir (Mishra vd. 2005). Balıklarda solungaç dokusunda katyonların iki taraflı taşınımı için önemli olan Ca^{2+} -ATPaz ve Mg^{2+} -ATPaz enzimlerinin inhibisyonları sonucunda iyonik homeostasis bozulduğu düşünülmektedir (Evans vd. 2005). Yapılan çalışmalarda pestisitlerin maruziyetinde ATPazların inaktivasyonu ile birlikte araştırılan enzimlerin aktivitelerinde de değişimlere sebep olduğu bildirilmiştir (Temiz, 2020, Murali vd. 2020).

Araştırmamızda klorantraniliprol maruziyetinde, *O. niloticus* biyoindikatör canlının hassasiyet gösterdiği belirlenmiştir. 7 gün maruziyet sonucunda balık solungaç dokularında Na^+/K^+ -ATPaz, Ca^{2+} -ATPaz ve Mg^{2+} -ATPaz enzimlerinde oluşan inhibisyon ile toksik etkilerin gösterilmesinde iyon regülasyon enzimlerinin önemli bir biyokimyasal parametre olduğu gösterilmiştir. Yapılan çalışmalarda, dokular üzerinde pestisitlerin etkileri iyon transport enzimlerinde oluşan aktivite değişimlerinin çeşitli kirlilik sonucunda oluşan toksik etkiler hakkında bilgileri geliştirmek adına yorumlanmak üzere bu çalışma rehberlik edecektir.

4. Kaynaklar

- Agrahari, S., Gopal, K. 2008.** Inhibition of Na^+-K^+ -ATPase in different tissues of freshwater fish *Channa punctatus* (Bloch) exposed to monocrotophos. *Pestic. Biochem. Phys.*, 92(2), 57-60. Doi:10.1016/j.pestbp.2008.06.003
- Atkinson, A., Gatemby, AO., Lowe, AG. 1973.** The determination of inorganic orthophosphate in biological systems. *Biochim. Biophys. Acta.*, 320:195-204. Doi: 10.1016/0304-4165(73)90178-5
- Blocksom, KA., Walters, DM., Jicha, TM., Lazorchak, JM., Angradi, TR., Bolgrien, DW. 2010.** Persistent organic pollutants in fish tissue in the mid-continental great rivers of the United States. *Sci. Total Environ.*, 408(5), 1180-1189. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.11.040
- Boyle, RT., Oliveira, LF., Bianchini, A., Souza, MM. 2013.** The Effects of Copper on Na^+/K^+ -ATPase and Aquaporin Expression in Two Euryhaline Invertebrates. *Bull Environ. Contam. Toxicol.* 90:387-390. Doi:10.1007/s00128-012-0949-4
- 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
- Ciacci, C., Barmo, C., Gallo, G., Maisano, M., Cappello, T., D'Agata, A., Canesi, L. 2012.** Effects of sublethal, environmentally relevant concentrations of hexavalent chromium in the gills of *Mytilus galloprovincialis*. *Aqua. Toxicol.*, 120, 109-118. Doi:10.1016/j.aquatox.2012.04.015
- Davis, PW., Wedemeyer, GA., 1971.** Na^+/K^+ activated ATPase inhibition in rainbowtrout. A site for organochlorine pesticide toxicity. *Comp. Biochem. Physiol.* 40,823-827. Doi:10.1016/0305-0491(71)90157-X
- Dellali, M., El Bour, N., Mahmoud, M., Patricia, A., Mahmoudi, E. 2010.** *Ecolo. Indicators*, 10,696.
- Evans, DH., Piermarini, PM., Choe, KP. 2005.** The multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. *Physiol. Rev.*, 85(1), 97-177. Doi:10.1152/physrev.00050.2003
- Jorgensen, PL., Hakansson, KO. and Karlsh, SJD. 2003.** Structure and mechanism of Na^+/K^+ -ATPase: functional sites and their interactions, *Annu. Rev. Physiol.*, 65: 817-849. Doi:10.1146/annurev.physiol.65.092101.142558
- Lahm, GP., Selby, T. P., Freudenberger, JH., Stevenson, TM., Myers, BJ., Seburyamo, G., Cordova, D. 2005.** Insecticidal anthranilic diamides: a new class of potent ryanodine receptor activators. *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 15(22), 4898-4906. Doi:10.1016/j.bmcl.2005.08.034
- Lahm, GP., Cordova, D., Barry, JD. 2009.** New and selective ryanodine receptor activators for insect control. *Bioorg. Med. Chem.*, 17(12), 4127-4133. Doi:10.1016/j.bmc.2009.01.018
- Mishra, D., Srivastav, SK., Srivastav, AK. 2005.** Effects of the insecticide cypermethrin on plasma calcium and ultimobranchial gland of a teleost, *Heteropneustes fossilis*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 60(2), 193-197. Doi:10.1016/j.ecoenv.2003.12.020
- Murali, M., Carvalho, MS., Shivanandappa, T. 2020.** Oxidative stress-mediated cytotoxicity of Endosulfan is causally linked to the inhibition of NADH dehydrogenase and Na^+ , K^+ -ATPase in Ehrlich ascites tumor cells. *Mol. Cell. Biochem.*, 1-10. Doi:10.1007/s11010-020-03711-z
- Narra, MR., Rajender, K., Reddy, RR., Murty, US., Begum, G. 2017.** Insecticide induced stress response and recuperation in fish: Biomarkers in blood and tissues related to oxidative stress. *Chemosphere*, 168, 350-357. Doi:10.1016/j.chemosphere.2016.10.066
- Nilsson, GE., Dymowska, A., Stecyk, JA. 2012.** New insights into the plasticity of gill structure. *Resp. Physiol. Neurobiol.*, 184(3), 214-222. Doi:10.1016/j.resp.2012.07.012
- Pałecz, D., Komuński, R., Gabryelak, T. 2005.** Na^+ K^+ -ATPase activity as a biomarker of toxaphene toxicity in *Unio tumidus*. *Toxicology in vitro*, 19(5), 707-712. Doi:10.1016/j.tiv.2005.03.014

- Parvez, S., Sayeed, I., Raisuddin, S. 2006.** Decreased gill ATPase activities in the freshwater fish *Channa punctata* (Bloch) exposed to a diluted paper mill effluent. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 65(1), 62-66. doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.07.010
- Sattelle, DB., Cordova, D., Cheek, TR. 2008.** Insect ryanodine receptors: molecular targets for novel pest control chemicals. *Invert. Neurosci.*, 8(3), 107.
- Stagg, RM., Shuttleworth, TJ., 1982.** The effects of copper on ionic regulation by the gills of the seawater adapted flounder, *Platichthys flesus* L. *J. Comp. Physiol.*, 149, 83-90.
- Stahl, LL., Snyder, BD., Olsen, AR., Pitt, JL. 2009.** Contaminants in fish tissue from US lakes and reservoirs: a national probabilistic study. *Environ. Monit Assess*, 150(1-4), 3-19. Doi:10.1007/s10661-008-0669-8
- Suvetha, L., Ramesh, M., Saravanan, M. 2010.** Influence of cypermethrin toxicity on ionic regulation and gill Na⁺/K⁺-ATPase activity of a freshwater teleost fish *Cyprinus carpio*. *Environ. toxicol. Pharmacol.*, 29(1), 44-49.
- Temiz Ö., 2020.** Experimental study on the evaluation of ionoregulation enzymes, heat shock protein, DNA oxidation and apoptosis in male mice heart tissue in exposure of emamectin benzoate. *EC Pharmacol. Toxicol.*, 8(3): 01-08.
- Temiz, Ö., Cogun, H. Y., Kargin, F. 2018.** Influence of chlorantraniliprole toxicity on ionic regulation of gill and muscle ATPase activity of Nile fish (*Oreochromis niloticus*). *Fresen. Environ. Bull*, 27, 5027-5032.
- Vieira, CED., dos Reis Martinez, CB. 2018.** The pyrethroid λ -cyhalothrin induces biochemical, genotoxic, and physiological alterations in the teleost *Prochilodus lineatus*. *Chemosphere*, 210, 958-967. Doi:10.1016/j.chemosphere.2018.07.115
- Vijayavel, K., Gopalakrishnan, S., Balasubramanian, MP. 2007.** Sublethal effect of silver and chromium in the green mussel *Perna viridis* with reference to alterations in oxygen uptake, filtration rate and membrane bound ATPase system as biomarkers. *Chemosphere*, 69(6), 979-986. Doi:10.1016/j.chemosphere.2007.05.011
- Webb, D., Gangnon, MM. Rose, T. 2005.** Metabolic enzyme activities in black bream, *Acanthopagrus butcheri* from the Swan Canning estuary, Western Australia. *Comp. Biochem. Physiol. Part C* 141, 356-365. Doi:10.1016/j.cbpc.2005.07.010



Determination of Fatty Acid Composition of Seed and Tuber Oils of *Eminium rauwolfii* (Blume) Schott var. *rauwolfii*

Eminium rauwolfii (Blume) Schott var. *rauwolfii*'nin Tohum ve Tuber Yağlarının Yağ Asidi Bileşimlerinin Belirlenmesi

Zeynep Ergün* 

Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Adana, Turkey

Abstract

In this study, the *Eminium rauwolfii* (Blume) Schott var. *rauwolfii* taxon's tubers and seeds from Turkey were evaluated for their fatty acids. The seed and tuber oil content (%) and fatty acid compositions were determined. The oil contents of the seeds and tubers were 2.89/100 g and 0.86/100 g, respectively. Among the fatty acids for seeds, linoleic acid (18:2n6) was the most abundant (25.01%), followed by oleic acid (18:1n9, 14.45%), palmitoleic acid (16:1, 11.6%), and palmitic acid (16:0, 10.28%). In addition, among the fatty acids for tubers, linoleic acid (18:2n6c) was the most abundant (26.22%), followed by palmitic acid (23.42%, 16:0), oleic acid (16.78%, 18:1n9), and myristic acid (7.05%, 14:0). The total percentages of the saturated and unsaturated fatty acids identified in our examined oils were 14.17 and 55.89% for seed and 44.71 and 45.87% for tubers, respectively. In conclusion, the seed and tuber oil of *Eminium rauwolfii* (Blume) Schott var. *rauwolfii* is richer in unsaturated fatty acids compared with saturated fatty acids.

Keywords: Eminium, Fatty acids, Seed oil, Tuber oil

Öz

Bu çalışmada, Türkiye'den toplanan *Eminium rauwolfii* (Blume) Schott var. *rauwolfii* taksonunun tuber ve tohumları yağ asitleri açısından değerlendirilmiştir. Tohum ve tuberlerin yağ miktarları (%) ile yağ asitleri bileşimi belirlenmiştir. Tohum ve tuberlerin yağ miktarları sırasıyla 2.89/100 g ve 0.86/100 g olarak bulunmuştur. Tohum yağ asitleri arasında en fazla miktarda bulunan yağ asidili oleik asit (%25.01, 18:2n6), ardından sırasıyla oleik asit (%14.45, 18:1n9), palmitoleik asit (16:1, %11.6), ve palmitik asittir (16:0, %10.28). Ayrıca, tuber yağ asitleri arasında en fazla miktarda bulunan yağ asidinin linoleik asit (%26.22, 18:2n6), ardından sırasıyla palmitik asit (%23.42, 16:0), oleik asit (%16.78, 18:1n9), miristik asit (%7.05, 14:0) olduğu gözlenmiştir. İncelenen yağlar da tanımlanan doymuş ve doymamış yağ sitlerinin toplam yüzdeleri tohum için sırasıyla %14.17 ve %55.89 iken tuberler için ise sırasıyla %44.71 and %45.87'dir. Sonuç olarak, *Eminium rauwolfii* (Blume) Schott var. *rauwolfii* taksonunun tohum ve tuberlerindeki yağlarda doymamış yağ asitleri miktarının doymuş yağ asitleri miktarından daha fazla olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Eminium, Yağ asitleri, Tohum yağı, Tuber yağı

1. Introduction

Eminium rauwolfii (Blume) Schott var. *rauwolfii* is a member of the Araceae family (commonly known as aroids). Araceae is a large, mainly tropical family, represented by about 117 genera and over 8,000 species throughout the world. In Turkey, there are 9 genera and 42 species of aroids. The genus *Eminium* (Araceae) is represented by six taxa in Turkey (Chen et al. 2007; Dring et al. 1995; Firat et al. 2015; Yüce Babacan & Eker 2017).

Certain Araceae taxa have been widely used as cut flower plants and ornamentals, either as houseplants or glasshouse subjects (Chen et al. 2007; Dring et al. 1995). They have large usage areas; for instance, some are edible, some species can be cultivated to obtain feedstock for carbohydrate foods, and some are utilized in herbal medicines (Afifi& Abu-Dahab 2012; Agbor-Egbe& Rickard 1990; Chen et al. 2007; Coursey 1968; Gilani et al. 2006; Khare 2007; Lai et al. 2010; Obeidat 2011; Rajput et al. 2014; Sağlık et al. 2002a, 2002b; Si et al. 2010). Moreover, the *Eminium spiculatum* (Blume) Kuntze (Araceae) species is used as an anticancer agent (Afifi& Abu-Dahab, 2012), and the juice extract of

*Corresponding author: zergun@atu.edu.tr

the roots and tubers of *Typhonium flagelliforme* Araceae) are commonly employed for cancer treatment (Choo et al. 2001). *Typhonium divaricatum* has been used in Malaysia for many years to treat various types of malignancy; there is a widespread lay belief that this plant possesses anti-cancer properties (Neoh, 1992). In addition, the tubers, fruits, and seeds of *Dracunculus vulgaris* have long been used for the treatment of rheumatism and hemorrhoids (Sağlık et al. 2002a).

In the literature, the composition of the fatty acid profile of some Araceae taxa has been determined. Sağlık et al. (2002a) studied the fatty acid composition of *Dracunculus vulgaris* and stated that the major fatty acids of seed oil are palmitic acid (16:0), palmitoleic acid (16:1n7), oleic acid (18:1n9), cis-vaccenic acid (18:1n7), linoleic acid (18:2n6), and 13-phenyl tridecanoic acids. The *Eminium lehmannii* leaves' and tubers' fatty acid compositions were determined by Chernenko et al. (2005). In their investigation, high concentrations of 18:3 acid were determined in neutral glycolipid and glycolipid from leaves, at 40.5 and 55.8%, respectively. Moreover, 16:0 (palmitic acid) was present in the phospholipid of leaves and tuber cores (38.3–42.9%, respectively). Chernenko and Glushenkova (2001) explored the lipids of the leaves, stems, and rhizomes with roots of *Acorus calamus* L., and they found that the major fatty acids were the palmitic, oleic, and linoleic acids. Sağlık et al. (2002b) investigated the fatty acid content of *Arum italicum* (Araceae) seed oil and reported that the dominant fatty acids could be listed as palmitic acid (16:0), palmitoleic acid (16:1n7), stearic acid (18:0), oleic acid (18:1n9), linoleic acid (18:2n6), and 13-phenyltridecanoic acid.

Due to the importance of Araceae taxa, as mentioned above, their fatty acid contents have been investigated in the literature. However, unlike in the previous studies, the present investigation aims to contribute to the literature by exploring the fatty acid compositions of *Eminium rawolffii* var. *rawolffii* seeds and tubers from Turkey.

2. Materials and Methods

Eminium rawolffii (Blume) Schott var. *rawolffii* were used in this study. The samples were collected in May 2018 from the hills outside Buyukhan Village, Şanlıurfa in Turkey.

Oil Extraction

The fresh oil needed for fatty acid analysis was obtained via an automatic Soxhlet device. Nine grams of seed and tuber samples were used for oil extraction. As solvent, hexane

was employed. The oil contents of seeds and tubers were expressed in terms of how many grams of oil were contained in the 100g samples.

Determination of Fatty Acids

The fatty acids were analyzed via gas chromatography (GC; Perkin Elmer, Shelton, USA). Chromatographic separation was performed using a (30 m × 0.25 mm ID, 0.25-µm film thickness) column equipped with a flame ionization detector (FID). The oven temperature was 120 °C for 2 min, and then it was raised by 5°C/min to 220°C, which was held for 10 min; the injector and detector temperatures were set at 280 °C and 260°C, respectively. The results were expressed in GC area % as a mean value ± standard deviation.

3. Results and Discussion

The oil contents of the seeds and tubers are reported in Table 1.

The oil amount of the seeds and tubers were 2.89/100 g and 0.86/100 g, respectively (Table 1). The previous literature stated that 100 g of *Dracunculus vulgaris* (Araceae family taxon) seed samples contain 1.18 g of oil (Sağlık et al., 2002a), while 100 g of *Colocasia esculenta* var. *antiquorum* and *Xanthosoma sagittifolium* samples contain 2.8 g of total fat and 2.9 g of oil, respectively (Agbor-Egbe & Rickard 1990).

The results showed that the major fatty acids in *Eminium rawolffii* var. *rawolffii* seed oil were linoleic acid (18:2n6, 25.01%), oleic acid (14.45%, 18:1n9), palmitoleic acid (11.6%, 16:1), and palmitic acid (10.28%, 16:0; Table 1). Furthermore, the dominating fatty acids found in *Eminium rawolffii* var. *rawolffii* tubers oil were linoleic acid (18:2n6, 26.22%), palmitic acid (23.42%, 16:0), oleic acid (16.78%, 18:1n9), and myristic acid (7.05%, 14:0; Table 1). The results are similar to the findings of Chernenko et al. (2005), who found that the major fatty acids of *Eminium lehmannii* leaves, tuber casings, and cores were 16:0 (palmitic acid), 18:1, 18:2, and 18:3; Sağlık et al. (2002a, 2002b), who found that the major fatty acids of some Araceae family taxa were 16:0 (palmitic acid), 18:1n9 (oleic acid), and 18:2n6; and Opute and Osagie (1978), who found that the major fatty acids of *Alocasia macrorrhiza* and *Colocasia esculenta* were 16:0 (palmitic acid), 18:0 (stearic acid), 18:1, 18:2, and 18:3. Unsaturated fatty acids in seeds and tubers were linoleic acid (C18:2n6), at 25.01% and 26.22%, respectively, followed by oleic acid (C18:1n9), at 14.45% and 16.78%, respectively (Table 1).

Table 1. Fatty acid composition and total oil content (%)

No	Compound	Fatty Acid	Seed (%)	Tuber (%)
	Oil content (g/100g)		2.89 g	0.86 g
1	C6:0	Caproic acid	ND	0.65 ±0.2
2	C8:0	Caprylic acid	ND	0.78 ±0.03
3	C10:0	Capric acid	ND	1.03 ±0.04
4	C12:0	Lauric acid	0.01 ±0.00	2.21 ±0.80
5	C14:0	Myristic acid	1.51 ±0.06	7.05 ±0.28
6	C15:0	Pentadecanoic acid	0.24 ±0.00	0.52 ±0.02
7	C16:0	Palmitic acid	10.28 ±0.41	23.42 ±0.93
8	C16:1	Palmitoleic acid	11.60 ±0.46	0.90 ±0.03
9	C17:0	Margaric acid	0.08 ±0.00	0.28 ±0.01
10	C18:0	Stearic acid	1.82 ±0.07	7.85 ±0.31
11	C18:1n9	Oleic acid	14.45 ±0.57	16.78 ±0.67
12	C18:2n6	Linoleic acid	25.01 ±1.00	26.22 ±1.04
13	C18:3n3	α-Linolenic acid	3.93 ±0.03	1.46 ±0.05
15	C20:0	Arachidic acid	0.14 ±0.00	0.33±0.01
16	C20:1	Gadoleic acid	0.12 ±0.00	ND
20	C22:0	Behenic	ND	0.37 ±0.01
23	C24:0	Lignoceric	0.09 ±0.00	0.22 ±0.00
	ΣSFA		14.17	44.71
	ΣMUFA		26.17	17.68
	ΣPUFA		28.94	27.68

SFA: Saturated fatty acids, MUFA: Monounsaturated fatty acids, PUFA: Polyunsaturated fatty acids, ND: Not detected

In light of their health benefits (Haag & Dippenaar 2005; Hu et al. 2001; Lichtenstein 2006; Meydani et al. 1991; Moreno & Mitjavila 2003), percentages of both polyunsaturated fatty acids (PUFAs) and monounsaturated fatty acids (MUFAs) were investigated. The findings of the analysis showed that the total MUFA reached 26.17% in seeds, while this ratio was 17.68% in the tubers. As for the total PUFA ratios, they were found to be 28.94% and 27.68%, respectively. Two of the important groups of PUFAs in human nutrition are n-6 and n-3. The precursors of the n-6 and n-3 families of fatty acids are linoleic acid (18:2n6) and alpha-linolenic acid (18:3n3; an essential fatty acid that cannot be synthesized in the human body), respectively, and these PUFAs have to be supplied through the diet (Güney et al. 2015; Nair et al. 1997). The balance of n-6 and n-3 fatty acids is important for homeostasis and normal development (Simopoulos 1991). The n-3 fatty acids have significant roles in the modulation and prevention of human diseases, especially coronary heart disease (Connor 2000).

A low ratio of PUFAs to saturated fatty acids (SFAs; P/S ratio) is not healthy (Murkovic et al. 1996); when performing a nutritional evaluation, it is important to determine this ratio. In the present study, the P/S ratios were found to be 2.09% and 0.63% for seeds and tubers, respectively. Thus, the P/S ratio of tubers is lower than that of seeds. Among the saturated fatty acids (SFAs), palmitic acid (C16:0) showed the highest proportions, with 10.28% and 23.42% in seeds and tubers, respectively, followed by stearic acid, at 1.82% and 7.85%, respectively (Table 1).

4. Conclusion

In this study, the *Eminium rauwolfii* (Blume) Schott var. *rauwolfii* taxon's tubers and seeds were evaluated for their fatty acid composition and total oil content using Turkish samples; such work has not been done in previous research. As a result, PUFAs were detected in higher amounts than MUFAs and SFAs were in seeds. However, SFAs were more abundant in tubers, followed by PUFAs and MUFAs.

5. References

- Afifi F. U., Abu-Dahab R. 2012.** Phytochemical screening and biological activities of *Eminium spiculatum* (Blume) Kuntze (family Araceae). *Nat. Prod. Res.*, 26(9): 878-882. doi: <https://doi.org/10.1080/14786419.2011.565558>.
- Agbor-Egb T., Rickard, JE. 1990.** Evaluation of the chemical composition of fresh and stored edible aroids. *J. Sci. Food Agri.*, 53(4): 487-495. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740530407>
- Chen, J., Henny, R. J., Liao, F. 2007.** Aroids are important medicinal plants. In: International Symposium on Medicinal and Nutraceutical Plants 756:347-354. doi: <https://doi.org/10.17660/Acta Hort. 2007.756.37>
- Chernenko, T. V., Glushenkova, A. I. 2001.** Lipids of *Acorus calamus*. *Chem. Nat. Compds.*, 37(4):304-306. doi: <https://doi.org/10.1023/a:1013749930066>
- Chernenko, T. V., Gazizov, F. Y., Glushenkova, A. I., Nigmatullaev, A. M. 2005.** Lipids of *Eminium lehmanni* leaves and tubers. *Chem. Nat. Compds.*, 41(2):141-143. doi: <https://doi.org/10.1007/s10600-005-0097-8>
- Choo, C. Y., Chan, K. L., Takeya, K., Itokawa, H. 2001.** Cytotoxic activity of *Typhonium flagelliforme* (Araceae). *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 15(3):260-262. doi: <https://doi.org/10.1002/ptr.717>
- Connor, W. E. 2000.** Importance of n-3 fatty acids in health and disease. *Am. J. Clin. Nutr.*, 71(1): 171-175. doi: <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.1.171S>
- Coursey, D. G. 1968.** The edible aroids. *World Crops*, 20:25-30.
- Neoh, C. K. 1992.** *Typhonium divaricatum* (rodent tubers): A promising local plant in the fight against cancer. *Med. J. Malaysia*, 47: 86-88
- Dring, J. V., Kite, G. C., Nash, R. J., Reynolds, T. 1995.** Chemicals in aroids: a survey, including new results for polyhydroxy alkaloids and alkylresorcinols. *J. Linn. Soc., Bot.*, 117(1): 1-12. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1995.tb02373.x>
- Firat, M., Karavelioğulları, F. A., Aziret, A. 2015.** Geophytes of East Anatolia (Turkey). *Manas J. Agr. Vet. Life Sci.*, 5(1): 38-53.
- Gilani, A. U., Shah, A. J., Ahmad, M., Shaheen, F. 2006.** Antispasmodic effect of *Acorus calamus* is mediated through calcium channel blockade. *Phytother Res.*, 20: 1080-1084. doi: <https://doi.org/10.1002/ptr.2000>
- Güney, M., Oz, A. T., Kafkas, E., 2015.** Comparison of lipids, fatty acids and volatile compounds of various kumquat species using HS/GC/MS/FID techniques. *Schott. J. Sci. Food Agric.*, 95(6): 1268-1273. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6817>
- Haag, M., Dippenaar, N. G. 2005.** Dietary fats, fatty acids and insulin resistance: short review of a multifaceted connection. *Med. Sci. Monitor*, 11: 359-367. doi: <https://doi.org/10.1080/07315724.2001.10719008>
- Hu, F. B., Manson, JE., Willett, W. C. 2001.** Types of dietary fat and risk of coronary heart disease: a critical review. *J. Am. Coll. Nutr.*, 20:5-19. doi: <https://doi.org/10.1080/07315724.2001.10719008>
- Khare, C. P. 2007.** *Indian Med. Plant Illustrated Dic.* New Delhi, India: Springer; p.836. doi: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-70638-2>
- Lai, C. S., Mas, R. H., Nair, N. K., Mansornn, S. M., Navaratnam, V. 2010.** Chemical constituents and in vitro anticancer activity of *Typhonium flagelliforme* (Araceae). *J. Ethnopharma.*, 127(2): 486-494. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.10.009>
- Lichenstein, A. H. 2006.** Thematic review series: patient-oriented research. Dietary fat, carbohydrate, and protein: effects on plasma lipoprotein patterns. *J. Lipid Res.*, 47:1661-1667. doi: <https://doi.org/10.1194/jlr.r600019-jlr200>
- Meydani, S. N., Lichenstein, A. H., White, A. H., Goodnight, S. H., Elson, C. E., Woods, M., Gorbach, S. L., Schaefer, E. J. 1991.** Food use and health effects of soybean and sunflower oils. *J. Am. Coll. Nutr.*, 10: 406-428. doi: <https://doi.org/10.1080/07315724.1991.10718168>
- Moreno, J. J., Mitjavila, M. T. 2003.** The degree of unsaturation of dietary fatty acids and the development of atherosclerosis (review). *J. Nut. Biochem.*, 14:182-195. doi: [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(02\)00294-2](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00294-2)
- Murkovic, M., Hillebrand, A., Winkler, J., Leitner, E., Pfannhauser, W. 1996.** Variability of fatty acid content of pumpkin seeds (*Cucurbitapepo* L). *Zeitschrift Lebensmittel-Untersuchung Forschung*, 203:216-219. doi: <https://doi.org/10.1007/bf01192866>
- Nair, S. S. D., Leitch, J. W., Falconer, J., Garg, M. L. 1997.** Prevention of cardiac arrhythmia by dietary (n-3) polyunsaturated fatty acids and their mechanism of action. *J. Nut.*, 127(3):383-393. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/127.3.383>
- Obeidat, M. 2011.** Antimicrobial activity of some medicinal plants against multidrug resistant skin pathogens. *J. Med. Plants Research*, 5(16): 3856-3860.
- Opute, F. I., Osagie, A. U. 1978.** Fatty acid composition of total lipids from some tropical storage organs. *J. Sci. Food Agric.*, 29(11): 959-962. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740291110>
- Rajput, S. B., Tonge, M. B., Karuppaiyl, S. M. 2014.** An overview on traditional uses and pharmacological profile of *Acorus calamus* Linn. (Sweet flag) and other *Acorus* species. *Phytomed.*, 21(3):268-276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2013.09.020>

- Saglik, S., Alpınar, K., Imre, S. 2002a.** Fatty acid composition of *Dracunculus vulgaris* Schott (Araceae) seed oil from Turkey. *J. Pharma. Sci.*, 5(3): pp. 231-233.
- Saglik, S., Alpınar, K., Imre, S. 2002b.** Fatty acid composition of the seed oil of *Arum italicum* Miller. *J. Food Lipids*, 9: 95-103. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2002.tb00212.x>
- Si, M. M., Lou, J. S., Zhou, C. X., Shen, J. N. 2010.** Insulin releasing and alpha glucosidaseinhibitory activity of ethyl acetate fraction of *Acorus calamus* in vitro and in vivo. *J. Ethnopharma.*, 128(1): 154-159. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.12.044>
- Simopoulos, AP. 1991.** Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *Am. J. Clinical Nut.*, 54(3): 438-463. doi: 10.1093/ajcn/54.3.438
- YüceBabacan, E., Eker, İ. 2017.** Geophyte Flora of the Munzur Valley (Tunceli) and Its Surroundings. *Bağbahçe Bil. Der.*, 4(1): 31-49.



Using Mathematical Modeling to Evaluate the Restricted Course of Coronavirus Pandemic (COVID-19) in Turkey

Türkiye'deki Koronavirüs Pandemisinin (COVID-19) Kısıtlamalı Seyrinin Matematiksel Modelleme ile Değerlendirilmesi

Kaan Yetilmezsoy^{*} , Majid Bahramian , Necdet Cem Ayla 

Yıldız Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Environmental Engineering, Istanbul, Turkey

Abstract

The new type coronavirus pandemic (COVID-19) was first identified in December 2019 in Wuhan, the administrative center and the largest city in the Hubei Province of China. The virus subsequently spread and is today affecting the entire world. As of Saturday April 25, 2020 (the date on which the present study was conducted), there were 2,908,206 recorded cases and 202,501 reported deaths attributable to COVID-19 around the world. After beginning to spread outside China in January 2020, COVID-19 was first identified in Turkey on March 10–11, 2020, and there had been 107,773 recorded cases and 2,706 deaths reported in the country as of April 25, 2020. The present study examines the restricted course of the coronavirus pandemic in Turkey from a mathematical perspective, and reports on a predictive modeling of the pandemic based on in-country data. Considering factors such as the peak period of the pandemic in Turkey, the infection and recovery rates, and the potential number of active cases at the end of the pandemic, logistic models were proposed for the cumulative numbers of positive cases and recovered cases. The model parameters were analyzed using the Nelder–Mead simplex method (direct search) and the Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS) Quasi-Newton cubic line-search algorithms within the MATLAB[®] software. For the interpretation of the course of infections, the exponential models proposed for the numbers of daily cases and daily deaths were analyzed using the Richardson's extrapolation method and the double-precision Levenberg–Marquardt method via the DataFit[®] software. In case that the current restricted course of the data shows a similar progression without any extreme situations (violations of rules, a new wave of outbreak, etc.), the number of daily COVID-19 cases in Turkey could be predicted to drop below 1,000 by the end of the first week, and to below 100 by the last week of May 2020. The predicted results indicated that there would be more than 120,000 active cases in our country at the end of the outbreak, and that infections in numerical terms would continue until the last week of July 2020.

Keywords: Coronavirus pandemic (COVID-19), Mathematical modeling, Logistic function, Nonlinear regression analysis, Statistical analysis, DataFit[®], MATLAB[®].

Öz

Yeni koronavirüs pandemisi (COVID-19), ilk olarak Çin'in Hubei eyaletinin yönetim merkezi ve en büyük şehri olan Wuhan kentinde Aralık 2019'da tespit edilmiş olup, tüm dünyayı etkisi altına almış durumdadır. Bu çalışmanın yapıldığı 25 Nisan 2020 Cumartesi günü itibarıyla dünyada COVID-19 kaynaklı 2,908,206 vaka ve 202,501 ölüm rapor edilmiştir. Ocak 2020'den itibaren Çin dışında da görülmeye başlayan COVID-19 vakaları, ülkemizde (Türkiye'de) ilk kez 10–11 Mart 2020 tarihinde görülmüş ve 25 Nisan 2020 tarihi itibarıyla Türkiye'nin koronavirüs bilançosu 107,773 vaka ve 2,706 ölüm değerleriyle kayıtlara geçmiştir. Bu çalışma kapsamında, Türkiye'deki koronavirüs pandemisi seyrinin matematiksel açıdan irdelenmesi hedeflenmiş ve ülkemiz için elde edilen verilere göre salgının kısıtlamalı sürecinin gidişatı hakkında bir tahmin modellemesi yapılmıştır. Salgının şu ana kadar Türkiye'de pik düzeyde görüldüğü zaman, enfeksiyon ve iyileşme hızları ve salgın sonunda maruz kalınabilecek vaka sayısı gibi faktörler göz önüne alınarak birikimli pozitif vaka ve iyileşme sayıları için lojistik modeller önerilmiştir. Model parametreleri MATLAB[®] programı vasıtasıyla Nelder–Mead simpleks doğrudan arama ve Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS) Quasi-Newton kübik doğrultu belirleme algoritmaları kullanılarak çözümlenmiştir. Günlük vaka ve günlük ölüm sayısı verileri için önerilen ekponansiyel modeller ise DataFit[®]

*Corresponding author: yetilmez@yildiz.edu.tr

Kaan Yetilmezsoy  orcid.org/0000-0003-1478-9957

Majid Bahramian  orcid.org/0000-0002-7571-5567

Necdet Cem Ayla  orcid.org/0000-0003-3391-5517

programı vasıtasıyla Richardson ekstrapolasyon metodu ve çift hassasiyetli Levenberg–Marquardt yöntemi kullanılarak çözümlenmiş ve enfeksiyonun gidişatı yorumlanmıştır. Mevcut kısıtlamalı veri seyri için ekstrem durumlar (kural ihlalleri, yeni salgın dalgası, vb.) olmaksızın benzer şekilde ilerlemesi durumunda, Türkiye’deki COVID-19 kaynaklı günlük vakaların Mayıs 2020’nin ilk haftası itibarıyla 1000’in altına ve son haftası itibarıyla da 100’ün altına inebileceği öngörülmüştür. Tahmin sonuçları, kısıtlamalı sürecin devam etmesi halinde ülkemizdeki salgın sonunda 120,000’in üzerinde maruz kalmış vaka olabileceğini ve enfeksiyonların sayısal anlamda sona ermesi sürecinin ise Temmuz 2020’nin son haftasını bulabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Koronavirüs pandemisi (COVID-19), Matematiksel modelleme, Lojistik fonksiyon, Nonlineer regresyon analizi, İstatistiksel analiz, DataFit®, MATLAB®.

1. Introduction

The first case of the COVID-19 was identified in December 2019 at a seafood and animal market in the city of Wuhan in the Hubei Province of China, which with 1.4 billion residents is the most populous country in the world. COVID-19, dubbed the Wuhan coronavirus by local authorities, can be transmitted from person to person through respiratory droplets. This new viral respiratory disease is reported to manifest with symptoms of fever and shortness of breath, and to spread through droplets and direct contact. It has been established that respiratory droplets landing on surfaces by various routes, such as coughing or sneezing from infected individuals, remain infectious for a given period (Rothe et al. 2020). Studies have found that asymptomatic people with the virus and who are in the incubation period are also contagious, although the incubation period is not the period in which the virus spreads most efficiently (Zhou et al. 2020). Since the virus infects the respiratory tract, the most efficient transmission occurs through contact of the hands, eyes, mouth, and nose with surfaces contaminated with droplets and respiratory secretions expelled when infected individuals cough or sneeze (Singhal 2020). The World Health Organization (WHO) declared the outbreak a pandemic on March 11, 2020 due to its global scale (Acıbadem Sağlık Grubu 2020).

In the period between January 2020 and the time of writing (April 26, 2020, 02:02), 2,914,093 cases and 202,985 deaths had been reported worldwide (Worldometers 2020). Within the specified period, the countries with total cases numbering above 100,000 (number of cases presented in parentheses) include the United States (956,679), Spain (223,759), Italy (195,351), France (161,488), Germany (156,418), the United Kingdom (148,377) and Turkey (107,773), respectively (Worldometers 2020). The inclusion of Turkey in this ranking indicates the severity of COVID-19 infections in our country.

COVID-19 has a very high transmission and spread rate when compared to previous viral diseases. The outbreak

progressed very rapidly, and quickly became a global issue, spurring intensive studies in the subject and highlighting a need to develop decision-making mechanisms based on the course of the infection (Ankaralı et al. 2020). In this context, deterministic or stochastic modeling of infections can be very helpful in understanding their mechanisms and processes, and in the development of preventive or therapeutic strategies (Ankaralı et al. 2020, Godio et al. 2020). For instance, Tuan et al. (2020) employed a Caputo fractional-order derivative method for predicting the behavior of the COVID-19 pandemic. Using the reports from around the world from January 22, to April 11, 2020, they concluded that the pandemic still will be active globally. Torrealba-Rodriguez et al. (2020) used Gompertz and logistic mathematical methods to forecast the number of the positive COVID-19 cases in Mexico, from February 27, 2020 to May 08, 2020. They also employed artificial neural networks to see the performance of the soft computing method. The predicted number of cases by Gompertz, logistic, and inverse artificial neural network (ANN) models were 47,576, 42,131, and 44,245 cases, respectively. The authors also predicted the total number of cases until the end of pandemic. They predicted 469,917 cases for Gompertz model, 59,470 cases for the logistic model, and 70,714 cases for the inverse ANN model, respectively. In another study, Zhang (2020) employed singular and nonsingular kernels for a mathematical modelling of the possibility of the COVID-19 spread within a given general population. Avila-Ponce de León et al. (2020) used the Susceptible-Exposed-Infected-Asymptomatic-Recovered-Dead (SEIARD) epidemic model mathematical analysis and state-level forecast of the COVID-19 pandemic in Mexico until the end of November 2020. In a similar modeling study, Ivorra et al. (2020) employed a Susceptible-Exposed-Infectious-Hospitalized Recovered-Dead (θ -SEIHRD) model (θ represents the fraction of infected people that has been detected) for predicting the spread of the coronavirus disease. Using the data from the undetected infections in China, they were able to adapt the model to the official

reports from WHO and predict the spread of the disease in China. Furthermore, Kucharski et al. (2020) reported that the transmission and control of the COVID-19 can be represented mathematically. Using the officially reported data from January 2020 to February 2020 as the input for a stochastic model, they reported that there is a more than 50% chance of the infection in locations with similar transmission potential to Wuhan in early January once there are at least four independently introduced cases.

In this study, a prediction modeling was conducted for our country undergoing a difficult COVID-19 pandemic period on the basis of data reported for 47-day period between March 10, 2020 and April 25, 2020 (records for restricted period before June 01, 2020 normalization process). Thus, it is aimed to obtain the prediction of “when our country may have ended” this epidemic if the COVID-19 measures are strictly followed in Turkey and to interpret the numerical findings for Turkey. In this context, it is aimed to show the importance of the loss of process caused by the imprudence related to the epidemic after the normalization calendar (June 01 2020) in our country. Moreover in process modeling performed in the study for progress of restricted period research is based on development of new mathematical formulations in connection with the cumulative number of positive cases by days, the number of infected patients per day from the outset, the cumulative number of recovered patients, and the number of deaths per day from the outset, use of different search algorithms in analysis of these issues, and validation by testing by means of many statistical performance indicators.

2. Materials and Methods

2.1. Data Collection and Criteria

The present study is based on the data of a sampling period of 47 days (restricted process before the normalization circular dated 01 June 2020) between March 10, 2020 and April 25, 2020 (days 69 and 116 of the COVID-19 pandemic based on January 01, 2020 start date) related to the outbreak in Turkey. The assessment criteria included (i) the cumulative number of positive cases by days (total cases), (ii) the number of infected patients per day from the outset (daily new cases), (iii) the cumulative number of recovered patients by days (total recoveries), and (iv) the number of deaths per day from the outset (daily deaths).

2.2. Computational Procedure

Modeling studies were conducted by using MATLAB®

R2018a (V9.3.0.713579, 64-bit (win64), Academic License Number: 40578168, MathWorks Inc., Natick, MA) and DataFit® (version 8.1.69, Oakdale Engineering, PA, USA, RC549) softwares running on a Casper Excalibur (Intel® Core™ i7-7700HQ CPU, 2.81 GHz, 16 GB of RAM, 64-bit) PC.

The parameters of the logistic functions proposed for the modeling of the cumulative numbers of positive cases and recoveries by days until April 25, 2020 for Turkey were determined using the Nelder–Mead simplex method (direct search) algorithm (N-M SDSA, proposed by John Ashworth Nelder and Roger Mead in 1965) and the BFGS (Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno) Quasi-Newton cubic line-search algorithm (BFGS Q-N LSA, introduced by William Cooper Davidon in 1959) within the MATLAB® numeric computing environment (Çetinkaya and Yetilmezsoy 2019).

The collected data associated with the restricted course of the COVID-19 pandemic in Turkey (between 10 March 2020 and 25 April 2020) were transported directly from Microsoft® Excel, which was used as an open database connectivity data source, and then the nonlinear regression-based analysis was implemented. As the regression models were solved, they were automatically sorted according to the goodness-of-fit criteria within the framework of the DataFit® interface. The nonlinear convergence parameters of the exponential functions proposed for the modeling of the daily new cases and the daily deaths were determined using the DataFit® program, with calculation options selected as follows: regression tolerance = 1×10^{-10} , maximum number of iterations = 250 and nonlinear iteration limit = 10. The regression analysis was performed using the Richardson’s extrapolation method and the double-precision Levenberg-Marquardt method (Abdul-Wahab et al. 2020, Yetilmezsoy et al. 2020, Yetilmezsoy 2016).

2.3 Statistical Analysis

The predictive performance of the models and the estimate errors were calculated using various statistical performance indicators (determination coefficient (R^2), adjusted coefficient of multiple determination (R^2_{adj}), mean absolute error (MAE), root mean squared error (RMSE), root mean squared error - systematic ($RMSE_s$), root mean squared error - unsystematic ($RMSE_u$), proportion of systematic error (PSE), index of agreement (IA), fractional variance (FV), coefficient of variation of RMSE (CV(RMSE)), standard error of the estimate (SEE), sum of residuals (SR), residual average (RA), and Fisher’s F -statistic) reported

in the literature (Abdul-Wahab et al. 2020, Yetilmezsoy et al. 2020, Foroughi et al. 2018, Yetilmezsoy et al. 2018, Yetilmezsoy 2016, Yetilmezsoy et al., 2009). In the statistical analysis, an alpha (α) level of 0.05 (or 95% confidence) was considered to test the significance of the derived functions.

3. Results

3.1. Prediction Models and Quantitative Evaluations on Infection Process

According to the 47-day data from March 10, 2020 to April 25, 2020 for the restricted course of the COVID-19 pandemic in Turkey, the derived prediction models for the cumulative number of positive cases by days, the number of infected patients per day from the outset, the cumulative number of recovered patients, and the number of deaths per day from the outset are expressed, respectively, in Equations (1) and (3) (logistic functions), and Equations (2) and (4) (exponential functions).

$$f(t, a, b, c) = \frac{c}{1 + \exp\left[\frac{-(t-b)}{a}\right]} = \frac{120120.7108}{1 + \exp\left[\frac{-(t-103.8380)}{6.0630}\right]} \quad (1)$$

$$f(t) = \exp\left[433.6586 - \frac{7863.0701}{t} - 75.2815 \cdot \ln(t)\right] \quad (2)$$

$$f(t, a, b, c) = \frac{c}{1 + \exp\left[\frac{-(t-b)}{a}\right]} = \frac{115499.9998}{1 + \exp\left[\frac{-(t-123.7692)}{6.1093}\right]} \quad (3)$$

$$f(t) = \exp\left[319.8079 - \frac{6060.3337}{t} - 55.2989 \cdot \ln(t)\right] \quad (4)$$

The logistic regression has been broadly utilized to portray the growth of a population. An infection can be defined as the growth of the population of pathogenic agents, so that a logistic model seems plausible for the analysis of case-control studies in epidemiological researches. In the logistic formula, t denotes the time (day) and three parameters a , b , and c refer the infection speed, the day with the maximum infections occurred, and the expected number of infected patients at the end of the outbreak, respectively. According to this model, at high time values, the number of infected individuals approaches c , where this point can be considered as the end of the infection. Mathematically, the first derivative of this function begins to decrease at the

inflection point b , and therefore, after this peak point, the severity of the epidemic becomes less disruptive and tends to decrease (Malato 2020).

According to Equation (1), the total number of cases in Turkey at the end of the restricted course of the COVID-19 pandemic was predicted to be above 120,000 ($R^2 = 0.9990$, Standard Error of estimate (SEE) = 628.3215). According to Equation (1), the day of the maximum number of infections was predicted to be April 11–13, 2020 (days 102–104 of the COVID-19 outbreak from the outset), considering the standard deviation values. The estimated values were obtained using the N-M SDSA within the MATLAB® platform, where the optimization problem was solved by employing “fminsearch” built-in code for the multidimensional unconstrained non-linear minimization (number of non-linear iterations (NNI) = 165, function counts (FC) = 306, and elapsed time = 3.364532 seconds). Figure 1 shows the outputs of the logistic model given in Equation (1) based on the data from between March 10, 2020 and April 25, 2020, during the restricted course of the COVID-19 pandemic in Turkey (the cumulative number of positive cases by days).

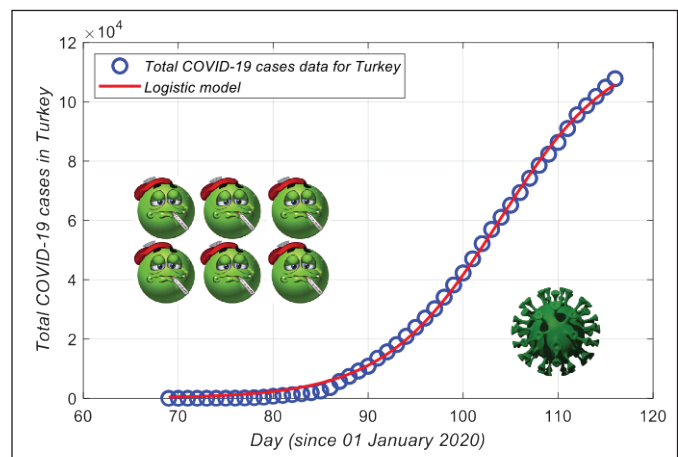


Figure 1. Prediction of the cumulative number of positive cases by days in Turkey during the COVID-19 pandemic (between March 10 2020 and April 25 2020) with a logistic model.

According to Equation (2), the number of daily COVID-19 cases could be predicted to drop below 1,000 by the first week of May 2020 (May 06–10, 2020) and below 100 by the last week of May 2020 (May 24–28, 2020) ($R^2 = 0.9652$, SEE = 343.3034). The number of recovered patients per day was calculated using the cumulative prediction results garnered from Equation (3), and the highest number of recoveries was predicted to occur at the beginning of May

2020 ($R^2 = 0.9973$, $SEE = 121.2619$). Figure 2 depicts the outputs of the exponential model (the number of infected patients per day from the outset) given in Equation (2) and the calculated daily recoveries (from Equation (3)) based on the data from between March 10, 2020 and April 25, 2020, during the restricted course of the COVID-19 pandemic in Turkey. Additionally, for the aim of fulfilling both computational and educational purposes of this study, a sample MATLAB® code, which is written to visualize the time-courses of daily new COVID-19 cases and daily recoveries in Turkey, is depicted in Figure 3.

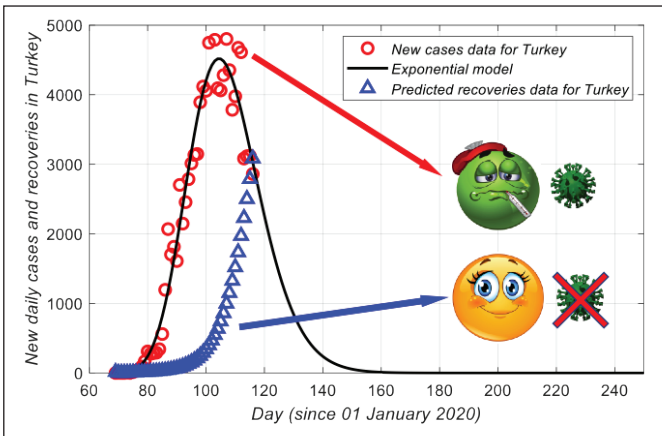


Figure 2. Prediction of the number of infected patients per day and the number of recovered patients per day from the outset during the COVID-19 pandemic in Turkey (between March 10, 2020 and April 25, 2020).

```
clear, clc
load 'dailycase';
load 'dailycoverycalc';
y1 = dailycase(:,2);
y2 = dailycoverycalc(:,2);
y22 = y2([1:48]);

x = [69:116]';
x1 = [69:250]';

a1 = 433.65862239;
b1 = -7863.07008407;
c1 = -75.28151528;

fcase = exp(a1+b1./x1+c1.*log(x1));

plot(x,y1,'or','MarkerSize',8,'LineWidth',2)
hold on
plot(x1,fcase,'-k','LineWidth',2)
plot(x,y22,'b','MarkerSize',8,'LineWidth',2)
axis([60 250 0 5000]);
xlabel('\itDay (since 01 January 2020)')
ylabel('\itNew daily cases and recoveries in Turkey')
legend('\itNew cases data for Turkey','\itExponential model',...
'\itPredicted recoveries data for Turkey','Location','NorthEast')
set(gca,'FontSize',12)
grid on
```

Introduction of the collected COVID-19 data (daily new cases and calculated daily recoveries) for Turkey

Definition of variable limits, model parameters, and model structure for the exponential function (Equation (2))

Setting of the plotting properties and the axis limits

CTRL + A → F9 → MATLAB

Figure 3. A sample MATLAB® script created for the visualization of daily new COVID-19 cases (obtained from Equation (2)) and daily recoveries (calculated from Equation (3)).

The number of recovered patients per day was calculated using the cumulative prediction results garnered from Equation (3), and the highest number of recovered patients was predicted to occur at the beginning of May 2020 using the BFGS Q-N LSA in the M-file Editor within the framework of MATLAB® software. The optimization problem was solved by employing “fminunc” built-in code to find the local minimum of the error function (number of non-linear iterations (NNI) = 18, function counts (FC) = 76, and elapsed time = 1.839137 seconds). According to Equation (3), the total number of recovered patients in Turkey at the end of the COVID-19 pandemic was predicted to be above 115,000 ($R^2 = 0.9973$, $SEE = 121.2619$). Figure 4 illustrates the outputs of the logistic model given in Equation (3) based on the data from between March 10, 2020 and April 25, 2020, during the COVID-19 epidemic in Turkey (the cumulative number of recovered patients by days).

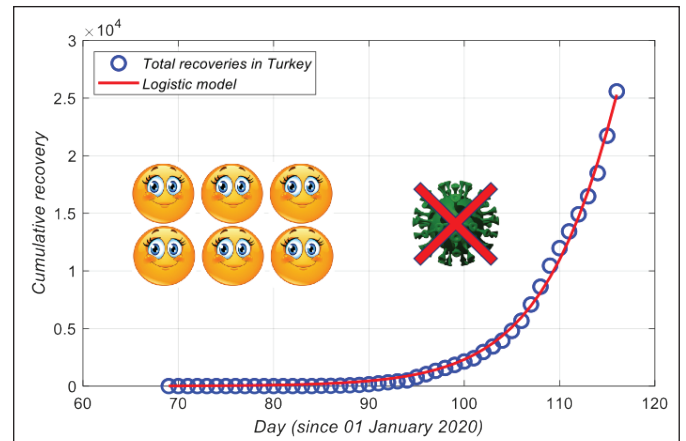


Figure 4. Prediction of the cumulative number of recovered patients by days in Turkey during the COVID-19 pandemic (between March 10, 2020 and April 25, 2020) with a logistic model.

According to Equation (4), the daily deaths attributable to the COVID-19 coronavirus in Turkey could be predicted to decrease significantly at the beginning of June 2020 ($R^2 = 0.9811$, $SEE = 6.8250$), and the COVID-19 pandemic in numerical terms could be estimated to be over by the end of July 2020 (July 29–31, 2020) at around day 213 of the outbreak from the outset. Figure 5 delineates the outputs of the exponential model given in Equation (4) based on the data from between March 10, 2020 and April 25, 2020, during the restricted course of the COVID-19 pandemic in Turkey (the number of deaths per day from the outset).

3.2 Statistical Appraisal of Models' Performance in Forecasting the COVID-19 pandemic

Descriptive statistical indicators are utilized as helpful mathematical tools to evaluate the prediction accuracy of proposed models as well as the quantity of the estimation error. For the derived exponential models (Equation (2) for daily new cases and Equation (4) for daily deaths), regression variable results including model coefficients (a , b ,

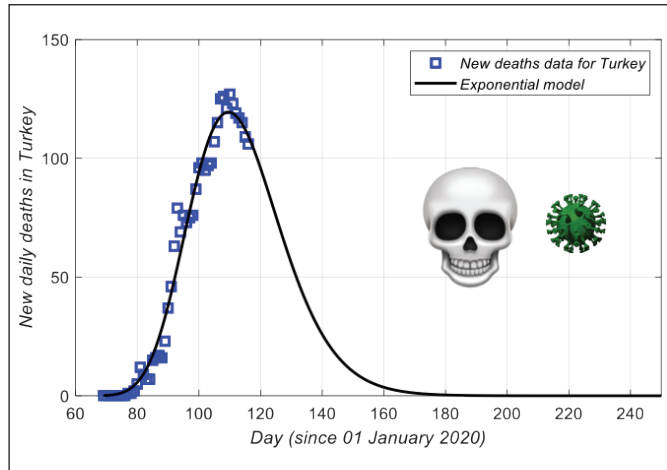


Figure 5. Prediction of the number of deaths per day from the outset during the COVID-19 pandemic in Turkey (between March 10, 2020 and April 25 2020) based on an exponential model.

c), standard errors (SE), t -statistics, and the corresponding p -values are summarized in Table 1.

While larger absolute t -ratio value shows the more significant parameter in the regression model, the variable with the lowest p -value will denote the most significant one (Yetilmezsoy et al. 2020, Yetilmezsoy 2016). Considering the magnitudes of the absolute t -ratios along with the respective p -values ($p < 0.050$) of the regression coefficients and variance analysis-based values within a confidence level of 95% (Table 1), the exponential models showed significant fits ($F = 623.4014 > F_{\alpha, df_1, (n-df_1)} = F_{0.05, 2, 45} = F_{tabulated} = 3.2043$, $p = 0.0000 < \alpha = 0.05$ for Equation (2), and $F = 1169.1143 > F_{tabulated}$, $p = 0.0000 < \alpha = 0.05$ for Equation (4)) to the COVID-19 related data (collected between 10 March 2020 and 25 April 2020) in the estimation of the number of infected patients per day from the outset (daily new cases) and the number of deaths per day from the outset (daily deaths) in Turkey. The statistical evaluators considered for the appraisal of the estimation performance of the proposed exponential models are presented in Table 2.

According to the statistical results in Table 2, the proposed exponential models demonstrated satisfactory correlations ($R^2 = 0.9652$ for Equation (2) and $R^2 = 0.9811$ for Equation (4)) in the prediction of daily new cases and daily deaths associated with the COVID-19 pandemic in Turkey. These results revealed that only 3.48% and 1.89% of the total

Table 1. Regression variable results for the derived exponential models (Equations (2) and (4))

Regression coefficients	SE	t-ratio	p-value
EM-1	$f(t) = \exp\left[433.6586 - \frac{7863.0701}{t} - 75.2815 \cdot \ln(t)\right]$		
$a = 433.6586$	33.9017	12.7916	0.0000
$b = -7863.0701$	613.2810	-12.8213	0.0000
$c = -75.2815$	6.0280	-12.4887	0.0000
EM-2	$f(t) = \exp\left[319.8079 - \frac{6060.3337}{t} - 55.2989 \cdot \ln(t)\right]$		
$a = 319.8079$	26.9378	11.8721	0.0000
$b = 6060.3337$	492.2000	-12.3127	0.0000
$c = 55.2989$	4.7793	-11.5705	0.0000
Fisher's F -statistic	$F = \frac{MSS_{reg}}{MSS_{res}} = \frac{(SS_{reg}/df_1)}{(SS_{res}/df_2)} = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - O_m)^2)/(k)}{(\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2)/(n - (k + 1))}$		

SE: Standard error, **t:** Time (day), **EM-1:** Exponential model-1 (Equation (2)), **EM-2:** Exponential model-2 (Equation (4)), and p -values < 0.050 are considered to be significant.

O , P , m , reg , res , and i are the subscripts indicating the observed, predicted, mean, regression, residual, and index of data points, respectively, **SS:** Sum of squares, **MSS:** Mean sum of squares, **df₁:** k and **df₂:** $(n - (k + 1))$ are the degrees of freedom (herein $df_1 = 2$ and $df_2 = 45$), n is the number of data points (herein $n = 48$), and k is the number of coefficients in the regression model ($k = 2$).

Table 2. Statistics of the nonlinear regression-based analysis conducted for the construction of the exponential equations (Equations (2) and (4))

Statistical evaluator	Calculation	Models	
		EM-1	EM-2
Standard error of the estimate	$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n - 2}}$	343.3034	6.8250
Sum of residuals	$SR = \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)$	-219.5354	-20.8101
Residual average	$RA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)$	-4.5737	-0.4335
Determination coefficient	$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_m)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 + \sum_{i=1}^n (P_i - O_m)^2}$	0.9652	0.9811
Adjusted coefficient of multiple determination	$R_{adj}^2 = 1 - \left[(1 - R^2) \left(\frac{n - 1}{n - p - 1} \right) \right]$	0.9636	0.9803

O, P, m, and i are the subscripts indicating the observed (or collected), predicted, mean, and index of data points, respectively, n is the number of observations, p is the total number of explanatory variables in the regression model (without including the constant term), EM-1 = Exponential model-1 (Equation (2)), and EM-2 = Exponential model-2 (Equation (4)).

variations were not described by the proposed exponential models (for Equations (2) and (4), respectively). Moreover, the high magnitude of the adjusted determination coefficients ($R_{adj}^2 = 0.9636$ for Equation (2) and $R_{adj}^2 = 0.9803$ for Equation (4)) corroborated the importance of the derived exponential models. Additionally, it is worth noting that if the model includes so many parameters, and the sample size is not that much big the R_{adj}^2 may be significantly lower than the R^2 value (Abdul-Wahab et al. 2020, Yetilmezsoy et al. 2020, Yetilmezsoy et al. 2009). For the proposed exponential formulations, R_{adj}^2 and R^2 values were very close to each other, confirming that the size of the sample ($n = 48$) used in the present study was appropriate for the modeling purpose.

Finally, various statistical indicators (e.g. R^2 , SEE, MAE, RMSE, $RMSE_S$, $RMSE_U$, PSE, IA, FV, CV(RMSE)) were computed to assess the prediction performance of the proposed logistic functions (Equations (1) and (3)). Summary of the statistical analysis implemented for the assessment of the predictive performance of the proposed logistic models is tabulated in Table 3.

Based on the statistical values presented in Table 3, the proposed logistic functions showed quite strong correlations ($R^2 = 0.9990$ for Equation (1) and $R^2 = 0.9973$ for Equation (3)) in the predictions of the cumulative number of positive cases by days (total cases) and the cumulative number of recovered patients by days (total recoveries) related to the

restricted course of the COVID-19 pandemic in Turkey. The relevant statistics corroborated that only 0.10% and 0.27% of the total variations were not accounted by the proposed logistic functions (for Equations (1) and (3), respectively), revealing that the derived formulations satisfactorily estimated the expected targets with considerably small deviations. Additionally, IA values (0.9997 and 0.9992 for Equations (1) and (3), respectively) were found to be very close to 1, indicating that very good agreements were attained between the collected COVID-19 data (the cumulative number of positive cases by days and the cumulative number of recovered patients by days) and outputs of the logistic models (for Equations (1) and (3), respectively) for Turkey from March 10, 2020 to April 25, 2020. Moreover, the low values of the coefficient of variation (3.8772% and 9.1605% for Equations (1) and (3), respectively) suggested a high degree of accuracy and a good deal of the reliability of the proposed logistic equations, as reported in the previous studies (Abdul-Wahab et al. 2020, Yetilmezsoy et al. 2020, Yetilmezsoy et al. 2009).

As seen from Table 3, descriptive statistical performance indicators, such as PSE (0.3010 and 0.1311 for Equations (1) and (3), respectively) and FV (0.0117 and 0.0100 for Equations (1) and (3), respectively), also indicated that the derived logistic regressions yielded fairly small residuals and showed a remarkable estimation performance on the prediction of the cumulative number of positive cases by

Table 3. Statistical performance of the logistic models (Equations (1) and (3)) used for the predictions of the cumulative number of positive cases by days (total cases) and the cumulative number of recovered patients by days (total recoveries).

Statistical performance indicator	Calculation	Models	
		LM-1	LM-2
Determination coefficient	$R^2 = \frac{\sum_i^n (P_i - O_m)^2}{\sum_i^n (O_i - P_i)^2 + \sum_i^n (P_i - O_m)^2}$	0.9990	0.9973
Standard error of the estimate	$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n - 2}}$	628.3215	121.2619
Mean absolute error	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i - O_i $	1123.2016	255.5167
Root mean squared error	$RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [P_i - O_i]^2 \right)^{0.5}$	1278.7545	348.6285
Root mean squared error - systematic	$RMSE_s = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [P_{reg} - O_i]^2 \right)^{0.5}$	615.0922	118.7088
Root mean squared error - unsystematic	$RMSE_u = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [P_{reg} - P_i]^2 \right)^{0.5}$	1121.1042	327.7958
Proportion of systematic error	$PSE = (RMSE_s)^2 / (RMSE_u)^2$	0.3010	0.1311
Index of agreement	$IA = 1 - \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_m + O_i - O_m)^2} \right]$	0.9997	0.9992
Fractional variance	$FV = \frac{2(\sigma_o - \sigma_p)}{(\sigma_o + \sigma_p)}$ $\sigma_o = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - O_m)^2}{n - 1}}$ $\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - P_m)^2}{n - 1}}$	0.0117	0.0100
Coefficient of variation of RMSE	$CV(RMSE) = \left(\frac{RMSE}{O_m} \right) \times 100$	3.8772	9.1605

O, P, m, reg, and i are the subscripts indicating the observed, predicted, mean, regression, and index of data points, respectively, σ is the standard deviation, n is the number of data points, LM-1 = Logistic model-1 (Equation (1)), and LM-2 = Logistic model-2 (Equation (3)).

days (total cases) and the cumulative number of recovered patients by days (total recoveries). Furthermore, considering the nonlinear nature of the COVID-19 outbreak-based data, values of SEE, MAE, RMSE, RMSE_s, and RMSE_u obtained from the proposed logistic functions were reasonably low, and their maximum value did not exceed 0.0154 per thousand of Turkey’s total population (83,154,997 million people according to the records on December 31 2019).

3.3. Validation of the Model Output

In this study, under the light of data from the 47-day period between March 10, 2020 and April 25, 2020, a predictive

modeling was performed for the cumulative number of positive cases by days, the number of infected patients per day from the outset, the cumulative number of recovered patients, and the number of deaths per day from the outset. Predictions in the scope of the study are forecasts based on the continuation of restrictions prior to the normalization calendar (01 June 2020). Therefore, to evaluate the consistency of the model outputs, a validation study was carried out including the records between March 10 2020 and April 25 2020. In this context, a set of log data obtained for 85 determination coefficient (*R*²) values for logistic model-1 (Equation (1)) for “the cumulative number of positive

cases by days” was determined as 0.9719, for exponential model-1 (Equation (2)) “the number of infected patients per day from the outset” was calculated as 0.8925, logistic model-2 (Equation (3)) for “the cumulative number of recovered patients” was computed as 0.9991 and exponential model-2 (Equation (4)) for “the number of deaths per day from the outset” was determined as 0.9533. Additionally, each criterion (including the cumulative number of positive cases by days, the number of infected patients per day from the outset, the cumulative number of recovered patients by days, and the number of deaths per day from the outset) was statistically evaluated in terms of the non-parametric Mann–Whitney (M–W) U (or the Wilcoxon rank-sum) test and the Kruskal–Wallis (K–W) test with the Conover–Inman method. Results were appraised with two-tailed p values to reflect the statistical significance between paired groups ($\alpha = 0.05$ or 95% confidence). Both the M–W U test and the K–W test revealed that there was no statistically significant difference between the predictions of the logistic model-1 (Equation (1)) and the corresponding observed data ($p_{M-W} = 0.1725$ and $p_{K-W} = 0.1733$). Therefore, the null hypothesis (H_0) was not rejected in favor of the alternative hypothesis (H_a), because the p value was higher than the chosen significance level of 0.05 (or 95% confidence). Similarly, for the 85-day sampling period between March 10, 2020 and May 31, 2020, the non-parametric tests indicated that there was insufficient evidence for a noticeable difference between the predictions of exponential model-1 (Equation (2)) and the officially reported data ($p_{M-W} = 0.1138$ and $p_{K-W} = 0.1141$). Moreover, the non-parametric tests demonstrated that no sufficient evidence was found for a significant difference between the estimations of the logistic model-2 (Equation (3)) and the respective recorded values ($p_{M-W} = 0.7582$ and $p_{K-W} = 0.7593$). Likewise, the non-parametric tests concluded that no sufficient evidence was generated for a significant difference between the predictions of the exponential model-2 (Equation (4)) and the corresponding official records ($p_{M-W} = 0.8515$ and $p_{K-W} = 0.8522$). The above noted statistical results obtained from the non-parametric analysis confirmed with 95% certainty that the proposed models satisfactorily described the restricted course (for data records before the normalization circular dated June 01, 2020) of the COVID-19 pandemic in Turkey.

4. Discussion

The present estimations are in line with the reported values in literature. For instance, Djilali and Ghanbari (2020) reported that the COVID-19 epidemic would disappear in

Turkey by the end of July (after 97 days starting from the date April 15 2020), which indicates a good accordance with our study (probably around July 29–31 2020). Moreover, Kırbaş et al. (2020) predicted the number of total cases in six different European countries including Turkey. Based on the 55-day data (between March 12 2020 and May 03 2020) taken from official website of European Centre for Disease and Control (ECDC), they reported that the predicted number of the total COVID-19 cases for the Turkey was approximately 143,503, which is in a good agreement with the predicted values in our study (over 120,000 cases). Furthermore, Aslan et al. (2020) proposed a susceptible-exposed-infectious-quarantine-recovered (SEIQR) type deterministic model (coupled with the system of ordinary differential equations (ODEs)) to evaluate the dynamics of the COVID-19 outbreak in Hubei (China) and Turkey and to emphasize the crucial roles of testing, quarantine, and social distancing in the control of this pandemic. They reported that Turkey would have about 148,100 total cases if the number of individuals in quarantine and the number of COVID-19 tests were increased by the authorities. The authors also stated that the outbreak would almost finish at the end of July 2020 depending on the change in quarantine rate and the rate of reported cases in Turkey. The results obtained within the scope of the investigation indicate that there is a good agreement between the current study and the estimates of SEIQR-based study.

The predictions of the present study do not take into account unexpected situations (such as failure to comply with curfews and the need to wear of masks/gloves, violations of social distancing rules, and the occurrence of a new wave of cases) other than the current restricted course (restricted process before the normalization circular dated June 01 2020), and are predictions based on the continuation of the data (the results for the 47-day sampling period between March 10 2020 and April 25 2020) under the hygiene measures applied to counter COVID-19 in the country. The current restricted course would be negatively affected, and predictions cannot be expected to be consistent in extreme circumstances, such as travel and religious services, social distancing violations, uncontrolled crowds at religious sites and shrines, especially during Eid al-Fitr (Ramadan Festival) on May 24–26 2020, as well as spontaneous gatherings following the weekend curfews.

Finally, it should be noted that the modeling with the limited epidemiological data is a fairly laborious task for forecasting and tracking the subsequent course (particularly

normalization process) of COVID-19 pandemic. In any case, it is as well early to draw an authoritative conclusion due to the dynamics in accessible information, current habits of individuals in the community, and their reactions to nationwide preventive measures or restrictions. It is seen that as the number of days in which epidemic data is collected increases, the forecast performance of the models will also increase. However, updating and calibrating the model parameters according to the course of the epidemic will contribute to the process to be formulated more successfully in deterministic terms.

5. Acknowledgments

The computational analysis implemented in this study has been financially supported by Turkish Academy of Sciences (TÜBA) as a part of Prof. Dr. Kaan Yetilmezsoy's "The Outstanding Young Scientist Award (TÜBA-GEBİP)" of the year 2018.

6. References

- Abdul-Wahab, SA., Omer, ASM., Yetilmezsoy, K., Bahramian, M. 2020. Modelling the clogging of gas turbine filter houses in heavy-duty power generation systems. *Math. Comput. Model. Dyn. Syst.* 26 (2): 119-143. Doi: 10.1080/13873954.2020.1713821.
- Acibadem Sağlık Grubu. 2020. Corona Virüsü (Koronavirüs) Nedir, Belirtileri Nelerdir? <https://www.acibadem.com.tr/koronavirus/koronavirus-corona-virusu-nedir-belirtileri/>
- Ankaralı H., Ankaralı, S., Erarslan N. 2020. COVID-19, SARS-CoV2, Enfeksiyonu: Güncel epidemiyolojik analiz ve hastalık seyrininin modellenmesi. *Anadolu Kliniği Tıp Bilimleri Dergisi* 25 (1): 1-22. Doi: 10.21673/anadoluklin.707038.
- Aslan, H. I., Demir, M., Wise, MM., Lenhart, S. (2020). Modeling COVID-19: Forecasting and analyzing the dynamics of the outbreak in Hubei and Turkey. *medRxiv*. Doi: 10.1101/2020.04.11.20061952.
- Avila-Ponce de León, U., Pérez, ÁGC., Avila-Vales, E., 2020. An SEIARD epidemic model for COVID-19 in Mexico: Mathematical analysis and state-level forecast. *Chaos Solitons Fract.* 140: 110165. Doi: 10.1016/j.chaos.2020.110165.
- Çetinkaya, AY., Yetilmezsoy, K. 2019. Evaluation of anaerobic biodegradability potential and comparative kinetics of different agro-industrial substrates using a new hybrid computational coding scheme. *J. Clean. Prod.* 238: 117921. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117921.
- Djilali, S., Ghanbari, B., 2020. Coronavirus pandemic: A predictive analysis of the peak outbreak epidemic in South Africa, Turkey, and Brazil. *Chaos Solitons Fract.* 138: 109971. Doi: 10.1016/j.chaos.2020.109971.
- Foroughi, M., Chavoshi, S., Bagheri, M., Yetilmezsoy, K., Samadi, MT. 2018. Alum-based sludge (AbS) recycling for turbidity removal in drinking water treatment: an insight into statistical, technical, and health-related standpoints. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 20(4): 1999-2017. Doi: 10.1007/s10163-018-0746-1.
- Godio, A., Pace, F., Vergnano, A. 2020. SEIR modeling of the Italian epidemic of SARS-CoV-2. *Preprints* 2020(5): 1-10. Doi: 10.20944/preprints202004.0073.v1.
- Ivorra, B., Ferrández, MR., Vela-Pérez, M., Ramos, AM. 2020. Mathematical modeling of the spread of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) taking into account the undetected infections. The case of China. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.* 88: 105303. Doi: 10.1016/j.cnsns.2020.105303.
- Kırbaş, İ., Sözen, A., Tuncer, AD., Kazancıoğlu, FŞ. 2020. Comparative analysis and forecasting of COVID-19 cases in various European countries with ARIMA, NARNN and LSTM approaches. *Chaos Solitons Fract.* 138. Doi: 10.1016/j.chaos.2020.110015.
- Kucharski, AJ., Russell, TW., Diamond, C., Liu, Y., Edmunds, J., Funk, S., Eggo, RM., Sun, F., Jit, M., Munday, JD., Davies, N., Gimma, A., van Zandvoort, K., Gibbs, H., Hellewell, J., Jarvis, CI., Clifford, S., Quilty, BJ., Bosse, NI., Abbott, S., Klepac, P., Flasche, S. 2020. Early dynamics of transmission and control of COVID-19: a mathematical modelling study. *Lancet Infect. Dis.* 20: 553-558. Doi: 10.1016/S1473-3099(20)30144-4.
- Malato, G., 2020. Covid-19 infection in Italy. Mathematical models and predictions. A comparison of logistic and exponential models applied to Covid-19 virus infection in Italy. <https://towardsdatascience.com/covid-19-infection-in-italy-mathematical-models-and-predictions-7784b4d7dd8d>.
- Rothe, C., Schunk, M., Sothmann, P., Bretzel, G., Froeschl, G., Wallrauch, C., Zimmer, T., Thiel, V., Janke, C., Guggemos, W., Seilmaier, M., Drosten, C., Vollmar, P., Zwirgmaier, K., Zange, S., Wölfel, R., Hoelscher, M., 2020. Transmission of 2019-nCoV infection from an asymptomatic contact in Germany. *N. Engl. J. Med.* 382: 970-971. Doi: 10.1056/NEJMc2001468.
- Singhal, T., 2020. A review of coronavirus disease-2019 (COVID-19). *Indian J. Pediatr.* 87: 281-286. Doi: 10.1007/s12098-020-03263-6.
- Torrealba-Rodriguez, O., Conde-Gutiérrez, RA., Hernández-Javier, AL., 2020. Modeling and prediction of COVID-19 in Mexico applying mathematical and computational models. *Chaos Solitons Fract.* 138: 109946. Doi: 10.1016/j.chaos.2020.109946.
- Tuan, NH., Mohammadi, H., Rezapour, S., 2020. A mathematical model for COVID-19 transmission by using the Caputo fractional derivative. *Chaos Solitons Fract.* 140: 110107. Doi: 10.1016/j.chaos.2020.110107.

- Worldometers, 2020.** COVID-19 Coronavirus Pandemic, Coronavirus Cases: Turkey. <https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries>
- Yetilmezsoy, K. 2016.** A new simple model for the prediction of waste sludge flow rate in the steady-state completely mixed activated sludge process. *Environ. Eng. Manag. J.* 15 (12): 2613-2630. Doi: 10.30638/eemj.2016.288.
- Yetilmezsoy, K., Demirel, S., Vanderbei, R.J. (2009).** Response surface modeling of Pb (II) removal from aqueous solution by *Pistacia vera* L.: Box–Behnken experimental design. *J. Hazard. Mater.* 171(1-3): 551-562. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.06.035.
- Yetilmezsoy, K., Erhuy, CG., Ates, F., Bilgin, MB. 2018.** Implementation of fuzzy logic approach to estimate the degree of expulsion and spattering index and weld strength in projection welding. *J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.* 40(6): 283. Doi: 10.1007/s40430-018-1210-9.
- Yetilmezsoy, K., Özçimen, D., Koçer, AT., Bahramian, M., Kıyan, E., Akbin, HM., Goncaloğlu, Bİ. 2020.** Removal of Anthraquinone Dye via Struvite: Equilibria, Kinetics, Thermodynamics, Fuzzy Logic Modeling. *Int. J. Environ. Res.* 14 (5): 541-566. Doi: 10.1007/s41742-020-00275-0.
- Zhang, Z., 2020.** A novel covid-19 mathematical model with fractional derivatives: Singular and nonsingular kernels. *Chaos Solitons Fract.* 139: 110060. Doi: 10.1016/j.chaos.2020.110060.
- Zou, L., Ruan, F., Huang, M., Liang, L., Huang, H., Hong, Z., Yu, J., Kang, M., Song, Y., Xia, J., Guo, Q., Song, T., He, J., Yen, HL., Peiris, M., Wu, J., 2020.** SARS-CoV-2 viral load in upper respiratory specimens of infected patients. *N. Engl. J. Med.* 382:1177-1179. Doi: 10.1056/NEJMc2001737.



Fitting Hidden Markov Model to Earthquake Data: A Case Study in the Aegean Sea

Saklı Markov Modelinin Deprem Verilerine Uygulanması: Ege Denizinde Bir Örnek Olay

Ozgur Danisman , Umay Uzunoglu Kocer 

Dokuz Eylul University, Department of Statistics, Izmir, Turkey

Abstract

Studies about stochastic modeling of earthquake data have increased considerably in recent years. It is a well-known fact that earthquakes occur as a result of unobservable changes in underground stress levels. The hidden Markov model provides a suitable framework for modeling earthquake data due to its assumptions. We present a hidden Markov model to examine hidden changes in the underground stress level and to make some probabilistic earthquake forecasts in the Aegean Sea. The Aegean region is selected for the modeling because of the active nature of earthquake occurrences. A hidden Markov chain is defined in which the corresponding states are stress levels of the ground. Four models with different numbers of hidden states are constructed and compared according to the Akaike and Bayesian information criteria. The proposed model is capable of forecasting the short-term probabilities of both earthquake magnitudes and also locations. Baum-Welch algorithm, which is an iterative expectation-maximization algorithm, is used for the estimation of model parameters. The traditional Baum-Welch algorithm considers only one variable as an observation for the iterations. In this paper, a naive and quite simple approach is used for the Baum-Welch algorithm to estimate the model parameters with more than one observation. It is possible to obtain the marginal and joint probability distributions of multiple observations with this approach.

Keywords: Hidden Markov model, Baum-Welch algorithm, Multiple observations, Earthquake, Forecasting, Aegean Sea

Öz

Deprem verilerinin olasılıksal modellenmesi ile ilgili çalışmalar son yıllarda giderek artmaktadır. Depremlerin yer altındaki gerilim düzeyindeki gözlenemeyen değişimler sonucu oluştuğu bilinen bir gerçektir. Saklı Markov modelleri varsayımlarından dolayı deprem verilerini modellemek için uygun bir çerçeve sunar. Yeraltı gerilim düzeyindeki gözlenemeyen değişimleri göz önünde bulundurmak ve Ege denizinde bazı olasılıksal deprem tahmini yapmak için gizli Markov modeli sunmaktayız. Ege bölgesi, deprem oluşumu bakımından aktif bir bölge olduğu için seçilmiştir. Gizli durumları yeraltı stres düzeyi olan bir gizli Markov modeli tanımlanmıştır. Gizli durum sayıları farklı olan dört ayrı model tanımlanmış ve bu modeller Akaike ve Bayesian bilgi kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Önerilen model deprem büyüklükleri ve bölgelerine ilişkin kısa dönem olasılık tahminleri verebilmektedir. Model parametrelerini tahmin etmek için iteratif bir algoritma olan Baum-Welch algoritması kullanılmıştır. Geleneksel Baum-Welch algoritması iterasyonlarda yalnız bir gözlem değişkeni kullanır. Bu çalışmada, Baum-Welch algoritmasının birden fazla gözlem değişkeni bulunduğu kullanımı için oldukça kolay ve anlaşılır bir bakış açısı önerilmiştir. Bu yaklaşımla çoklu gözlem değişkenlerinin marjinal ve ortak olasılık fonksiyonlarını elde etmek mümkün olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Saklı Markov modeli, Baum-Welch algoritması, Çoklu gözlem, Deprem, Tahmin, Ege Denizi

1. Introduction


Analyzing seismic data and developing some statistical methods to forecast earthquake occurrences or earthquake times have been a challenging task for decades. The elastic rebound theory (Reid 1910) is one of the classical models for earthquake mechanisms. It states that stress in a region

accumulated due to the movement of tectonic plates, and is released when it exceeds some value of strength. The stochastic version of the elastic rebound theory, called *stress release model*, is proposed (Vere-Jones 1978). Besides, researchers who are interested can find detailed information about the seismicity-based earthquake forecasting techniques (Tiampo and Shcherbakov 2012).

There have been some studies aiming to model the general structure of seismic data by using the Markov process or Poisson process. However, earthquakes are affected by various

*Corresponding author: ozgur.danisman@deu.edu.tr

Ozgur Danisman  orcid.org/0000-0001-5855-6413

Umay Uzunoglu Kocer  orcid.org/0000-0001-5044-6236

natural factors such as the structure of the fault and previous earthquake occurrences, and these events may change the magnitude and/or the occurrence time of an earthquake. Some of these natural events are observable and some of them are not. Since there is a dependency between these natural factors and the earthquakes, a modeling approach that characterizes this dependency is required. Since it is known that the Poisson process has memorylessness property and it assumes that different time intervals for a specific region are independent, the Poisson process usually does not provide an adequate modeling setting.

The dependence between the previous and the most recent earthquake magnitudes encouraged researchers to study modeling the seismic data using the Markov process. When the Markov process is used for earthquake forecasting, the observed data becomes the states of the system and unobservable natural events are not included in the model. See Anagnos and Kiremidjian (1988) and its references for the first applications of the Poisson process and Markov process for seismic studies. Sojourn times are assumed to be exponential for Markov processes; on the other hand, it is possible to assume different sojourn time distributions such as Weibull or Gamma for semi-Markov processes. There also exists some studies about the modeling of earthquake data with the semi-Markov process. A semi-Markov process is proposed (Alvarez 2005) where a mixture of exponential and Weibull distribution is assumed for waiting times. Construction of a semi-Markov process is proposed (Sadeghian 2012) to predict the probability of the time and place of occurrence of earthquakes. In another study that assumed sojourn times as Weibull distribution (Masala 2012) proposed both homogeneous and non-homogeneous semi-Markov process and he allowed dependence in both space and time, in their model. A semi-Markov model for the estimation of the expected number of earthquakes is considered and a seismic hazard assessment was presented for Northern Aegean Sea (Votsi et al. 2012). The semi-Markov kernel and the distributions of sojourn times were estimated by the help of a nonparametric method. In addition, a detailed information about the seismology from the statistical point of view, about discrete HMM and hidden Markov renewal model was presented (Votsi 2019).

The existence of the unobservable factors that affect the earthquake occurrence led to the start of using the hidden Markov model (HMM) to characterize the earthquake occurrences. HMM is a special type of Markov process in which states are unobservable. An unobservable Markov

chain leads the system and observations occur after each transition. This type of a model is more suitable to model the seismic data because unobservable natural events are assumed to be states of a hidden Markov chain and some of the outputs such as magnitude or occurrence time are the observations occurring after each transition. Hence, the HMM is studied instead of the Markov process and Poisson process for the earthquake analysis since the early 2000s.

HMM is first introduced with the definition as “emitted probabilistic functions of unobservable finite-state Markov chains” (Baum et al. 1966). For modeling seismic data, the very first study (Granat and Donellan 2002) used the GPS seismicity data collected in the Southern California region. Hidden states were the changes in stress within a fault system and earthquake forecasts were presented. It is claimed that the Poisson process which is a traditional model for earthquakes is insufficient for forecasting future events and HMM is proposed (Chambers et al. 2003). They assumed each hidden state leads to an exponential distribution with different rates and overall time distribution is a mixture of exponential distributions. They used 110 interevent times (in days) between 1975 and 2000 and related earthquakes have magnitudes with $M \geq 2.7$ and assumed two hidden states; rapid response and slow response to a quake. The California region is studied (Ebel et al. 2007) with earthquake data which have magnitude values $M \geq 4$. Inter-event times between earthquakes were assumed to be exponential and the short-term future earthquakes (in one day) were forecasted in a dynamic way using HMM. Observations were the inter-event times and one of four spatial quadrants. Poisson HMM was used to model the seismic variations and earthquake frequencies (Orfanogiannaki et al. 2010). The earthquakes greater than the magnitude $M \geq 3.2$ around the Killini, Ionian Sea were used between 1990 and 2006. Observations were assumed the daily number of earthquakes and inter-event times. Poisson HMM was fitted for 2,3,4 and 5 states and models with four and five hidden states were selected. HMM is applied to earthquake data ($M \geq 4$) from 1932 to 1964 in the California region (Chambers et al. 2012). They used two different models with two and four states, respectively. Inter-event time distribution was assumed to be exponential. Observations were assumed inter-event times and one of two regions (east or west) that an earthquake may occur. HMM is used for earthquake data from 1845 to 2013 in the Greece region (Votsi et al. 2013). Hidden states were assumed the stress level of the ground. Different HMMs with a different number of states were

examined and a two-state model was selected. Observations were the classes of earthquakes magnitudes and their aim was the estimation of the expected time until the next earthquake. When the stress level of the ground exceeds a threshold, an earthquake occurs (Yip et al. 2018). They assumed this threshold divides the underground stress level into two states: low and high level of earthquake frequency. Their model includes earthquake magnitudes as observations and a non-stationary transition probability matrix that varies by time. A comprehensive implementation of hidden semi-Markov models for the seismic hazard assessment was presented (Pertsinidou et al. 2017). The earthquakes which have a magnitude $M \geq 2.7$ around the North and South Aegean Sea were taken into consideration. Models with different dimensions were developed and compared with different sojourn time distributions.

In this study, an HMM is proposed for modeling the earthquake data of the Aegean Sea region. The complete data contains the depth, location, magnitude, and inter-event time of an earthquake. HMMs with different numbers of hidden states are constructed and the most likely model is selected according to likelihood values. By using the most suitable model, short-term probabilities of earthquake magnitudes and earthquake locations are forecasted. The conditional probability distribution of earthquake magnitudes and earthquake locations are obtained. Then, the joint probability distribution of random variables magnitude and location is obtained. The resulting model is capable of forecasting the probabilities of earthquake magnitude classes and the probabilities of earthquake locations.

The common point of all existing studies is that they assumed only one variable as the observation for the estimation of model parameters. Other variables are included in the model after parameter estimation with some independency assumptions. However, three types of observations which are depth, location, and magnitude are used for the estimation of model parameters in our study. We aim to obtain the estimates with more earthquake information. These three types of observations are redefined as a single variable and then, marginal and joint probability distributions of earthquake magnitude and location are obtained.

The main contributions of our paper can be summarized as follows: (1) A modeling approach is proposed in which multiple observations are used for the parameter estimation. (2) Marginal and joint probability distributions of all observation random variables are obtained by this approach. (3) The proposed HMM gives probabilistic forecasts of

the magnitude and location of a future earthquake in the Aegean Sea, Turkey. Earthquake forecasting for this region is provided for the first time by this modeling approach.

In section two, a brief introduction to HMMs and its complete parameter set is given. Then, the method of modeling the earthquake data and selecting the best representative model between different HMMs are presented. In section three, results and the related probability distributions of earthquake magnitude and location is presented. The probabilities of occurring earthquakes in a region are forecasted in one day and one week. And finally, discussions, concluding remarks, and some possible further studies are presented in the section four.

2. Material and Method

HMMs are discrete-time stochastic processes which consist of two sets of random variables. One is a Markov chain with some finite states and the other is a set of observations occurring immediately after each transition of the underlying Markov chain. The transitions of the Markov chain are invisible (hidden) to a viewer outside of the system and the current state is always dependent on the previous state because of the Markovian property. The observations are emitted by a probability distribution corresponding to the current state of the Markov chain. They are independent of each other and only depend on the current hidden state. It is not possible to observe the states of the system directly and someone can record only the observations. HMMs are different from traditional Markov models due to these assumptions. The observed data is not the actual state of the system for HMMs, these observations are emitted by the underlying hidden states. On the other hand, the observations correspond directly to the states for traditional Markov models. So, the term "hidden" comes from the first-order Markov chain behind the observations.

2.1. General definition of HMM

Let v_k be the k th observation and there are M possible emitted observations per state. The system makes a transition and emits one of the observations $\{v_1, v_2, \dots, v_M\}$. There are N hidden states, hence the transition probability matrix is N -dimensional square matrix. The hidden state sequence and the observation sequence are finite sets and T is the length of these sets. Let X_t be the random variable that represents the state of the hidden Markov chain at time t , where $X_t \in \{1, 2, \dots, N\}$, $t = 0, 1, \dots, T$. Furthermore let Y_t be the random variable that represents the observation in a

state at time t , where $Y_t \in \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$ and $t = 0, 1, \dots, T$. So, the sequence of hidden states and observations are denoted by $\{X_1, X_2, \dots, X_T\}$ and $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_T\}$, respectively.

Transition probability matrix (TPM) is denoted by $P = \{p_{ij}\}$. Each element of P is a transition probability from hidden state i to state j . That is,

$$p_{ij} = P(X_{t+1} = j | X_t = i), \quad i, j = 1, 2, \dots, N \text{ and } t = 1, 2, \dots, T. \quad (1)$$

The model emits an observation after each transition and emission information is given by *observation probability distribution*. The emission probability of an observation at time t may change from state to state. Since there are N hidden states and there are M possible observations in each state, the observation probability matrix is denoted by $B = \{b_j(k)\}$ and consists of $N \times M$ entry. This matrix gives the probability of emitting an observation given that the system is in any hidden state. That is,

$$b_j(v_k) = P(Y_t = v_k | X_t = j), \quad j = 1, 2, \dots, N, k = 1, 2, \dots, M \text{ and } t = 1, 2, \dots, T. \quad (2)$$

The *initial state distribution* gives the starting probabilities and usually given by $N \times 1$ vector. Let π_i be the probability of starting at state i . Then,

$$\pi_i = P(X_0 = i), \quad \text{where } i = 1, \dots, N. \quad (3)$$

These three parameters construct the complete parameter set $\lambda = (P, B, \pi)$ of a HMM.

2.2. Modeling of earthquake data by HMM

HMM has been one of the ways of modeling the earthquake data that include magnitudes, inter-event times, earthquake frequencies, depth of earthquakes, or locations. Earthquakes are caused by a sudden release of stress along faults. When the stress on the fault exceeds a threshold, an earthquake occurs, and energy releases. The stress level of the fault changes before each earthquake and these changes are unobservable. It is possible to observe and measure the magnitude or the occurrence time of an earthquake but, the same does not apply to the stress level that causes the earthquake. Hence, the states of the hidden Markov chain is assumed the “stress level” of the fault. Hidden states are denoted by X_t which is defined on the state space $S = \{1, 2, \dots, N\}$, and also when a hidden state number decreases, the stress level of fault decreases as well: state 1 corresponds to the minimum stress level and state N corresponds to the maximum stress level. After each transition, four different observations are

emitted: location, depth, inter-event time between previous and last earthquake, and the magnitude of an earthquake.

Location (L). The Aegean Sea region is selected for modeling because of the active nature of earthquakes. The region is divided into two locations. Region I (L_I) is the Mytilene Island area and region II (L_{II}) is the Aegean Sea area. These two regions continuously experience successive earthquakes. An earthquake can occur either in region I or region II. Selected regions are shown in Figure 1.

Depth (D). The depth of earthquakes is divided into two classes according to the median value. The median value is found as $Med = 10$ and $10km$ is accepted as the threshold value between two classes. That is, an earthquake can occur either more than or equal to $10km$ deep ($D \geq 10$) or less than $10km$ deep ($D < 10$).

Magnitude (M). For the corresponding regions, the earthquakes with a magnitude greater than 3 are included in the data set. The magnitude values of M are classified into four groups with the help of the k -means clustering method. An earthquake magnitude between $[3.0, 3.3)$ is included in class 1, between $[3.0, 3.6)$ is included in class 2, between $[3.6, 3.9)$ is included in class 3, and if $M \geq 3.9$, it is included in class 4.

Inter-event times (T). Inter-event times between successive earthquakes are assumed to be independent of other variables. It is assumed that it depends only on the hidden states and inter-event times between two successive earthquakes follow an exponential distribution. So, the parameter of the related inter-event time distribution depends on the hidden state it is emitted. In other words, each state must have different exponential rates. The Viterbi (Viterbi 1967) algorithm, which is an algorithm to find the most likely hidden state

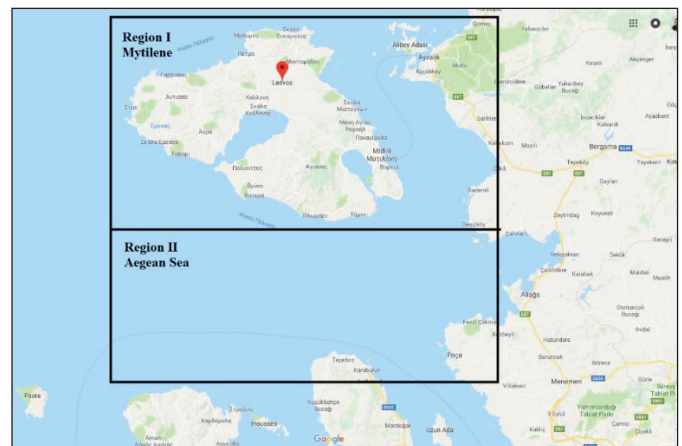


Figure 1. Possible earthquake locations.

sequence, is needed to estimate model parameters of inter-event times, in days, for each hidden state. Since there is no information about hidden states of past earthquakes, these 1107 hidden states are estimated with the Viterbi algorithm.

The main contribution of our study is to allow multiple observations included in the parameter estimation part of the model. The traditional Baum-Welch algorithm (Baum et al. 1970) allows using only one variable as an observation. Existing studies with HMM for earthquake forecasting generally include only one observation for learning problem and only one variable is used while estimating the model parameters with the Baum-Welch algorithm. Some of the existing studies assume the observation as the number of earthquakes occurred in independent time intervals, whereas some of them assume the magnitude of an earthquake as an observation. The inter-event times and locations of earthquakes are generally assumed as independent factors and the joint distribution of these random variables with the inter-event time is obtained by multiplying their marginal distributions. In our study, inter-event times between successive earthquakes are also assumed to be exponential. Different from the previous studies, three variables which are *location*, *depth*, and *magnitude* are included as the observations to the Baum-Welch algorithm. These three variables are expressed as a new single random variable for the Baum-Welch algorithm iterations. That is, more information is used to estimate the complete parameter set. Obtaining the marginal distributions of magnitude values and locations, and also the joint distribution of these two variables allows us to draw some clear and accurate conclusions.

2.3. Model selection

Four different models are constructed with different numbers of hidden states ($N = 2, \dots, 5$) and the best model that fits the data is to be selected. There exist 2 locations, 2 depth classes, and 4 magnitude classes. It is possible to show these multivariate data sets as a one-dimensional new variable by taking the Cartesian product of these three random variables. So, the new type of observation includes sixteen types of possible observation. For instance, $\{L_{II}, D < 10 \text{ km}, M \in [3.0, 3.3]\}$ is the joint event of an occurrence of an earthquake between magnitude 3 and 3.3 at the Aegean Sea region with a depth of less than 10km. This joint event is just one of the sixteen events. Each of these joint events is one of the possible observations to be emitted. Now, a hidden state sequence can be obtained. The complete earthquake data is fitted for the process of

the Baum-Welch algorithm. Note that this algorithm does not give us the marginal distributions of each variable. The observation probability distribution of the new one-dimensional variable is obtained.

Model parameters are estimated by the Baum-Welch algorithm which is an iterative algorithm based on expectation-maximization. The starting values for initial state distribution, observation emission distribution, and transition probability distribution are selected from Uniform distribution. Stopping criteria for estimates is $\epsilon = 10^{-4}$. That is, when the difference between the last estimates and the previous estimates gets smaller than the identified value of ϵ , the algorithm is stopped. Parameters are estimated for four different models. The likelihood values of the four models are used to select the most likely model. Akaike Information Criterion (AIC) (Akaike 1974) and Bayesian Information Criterion (BIC) (Schwarz 1978) values are obtained to decide the most suitable model. The model with the lowest AIC and BIC value is selected as the best representative model that fits data. Likelihood, AIC, and BIC values are shown in Table 1. P is the degrees of freedom of each model. From Table 1, AIC and BIC take the smallest value for the two-state model. According to Table 1, the HMM with two hidden states fits better the data.

Table 1. Likelihood and information criterion values

State	P	$\ln L$	AIC	BIC
2	4	-918.15	1844.3*	1864.3*
3	9	-1447.92	2913.84	2958.92
4	16	-917.54	1867.08	1947.23
5	25	-1124.76	2249.52	2424.75

For two-state HMM, state 1 corresponds to low stress level whereas state 2 corresponds to the high-stress level. The estimated values of hidden state transition probabilities are given below.

$$\hat{P} = \begin{pmatrix} 0.5075 & 0.4925 \\ 0.9999 & 0.0001 \end{pmatrix} \quad (4)$$

According to the transition probability distribution, the probability of a transition from “low-stress level” to “high-stress level” is 0.4925 and the probability of a transition from “high-stress level” to “low-stress level” is 0.9999. It is known that one of the main reasons for severe earthquakes is the high-stress level of the ground and these earthquakes generally occur very rarely. The high-stress level makes a transition to the low-stress level just after a severe

Table 2. Observation probability distribution given the hidden states

Obs.	Event	State I	State II	Obs.	Event	State I	State II
1	$L_I, D \leq 10, M \in [3.0, 3.3)$	0.1240	0.1479	9	$L_{II}, D \leq 10, M \in [3.0, 3.3)$	0.1213	0.1199
2	$L_I, D \leq 10, M \in [3.3, 3.6)$	0.0317	0.0846	10	$L_{II}, D \leq 10, M \in [3.3, 3.6)$	0.1259	0.0182
3	$L_I, D \leq 10, M \in [3.6, 3.9)$	0.0095	0.0136	11	$L_{II}, D \leq 10, M \in [3.6, 3.9)$	0.0172	0.0564
4	$L_I, D \leq 10, M \geq 3.9$	0	0.0055	12	$L_{II}, D \leq 10, M \geq 3.9$	0	0.0547
5	$L_I, D \geq 10, M \in [3.0, 3.3)$	0.1525	0	13	$L_{II}, D \geq 10, M \in [3.0, 3.3)$	0.1672	0.1069
6	$L_I, D \geq 10, M \in [3.3, 3.6)$	0.0451	0.0317	14	$L_{II}, D \geq 10, M \in [3.3, 3.6)$	0.0771	0.1544
7	$L_I, D \geq 10, M \in [3.6, 3.9)$	0	0.0328	15	$L_{II}, D \geq 10, M \in [3.6, 3.9)$	0.0546	0.0596
8	$L_I, D \geq 10, M \geq 3.9$	0.0038	0.0224	16	$L_{II}, D \geq 10, M \geq 3.9$	0.0701	0.0914

earthquake. There are very frequent non-violent earthquakes in the investigated area, Turkey side of the Aegean Sea. In other words, the stress level of the region is mostly low. This is why the system tries to make a transition to the low-stress level, especially from the high-stress level. When the region's tendency to non-violent earthquakes and the selected model is considered, the transition probability matrix gives the expected probabilities of hidden transitions. The process tends to make transitions from the low-stress level to both states with almost the same probabilities. The estimated values of observation emission probabilities are given in Table 2.

Recall that hidden states depend only on the previous state and the transition probability matrix is independent of observations. Table 2 gives the probabilities of emissions given the hidden states. Emission probabilities for sixteen observations are obtained. It is clear from Table 2 that when the magnitude value gets higher, the probability of observation emission gets lower. That is, there is a small tendency for an earthquake with high magnitudes.

3. Results

It is possible to obtain the conditional probability distributions of magnitudes and locations using Table 2 by considering the marginalization according to other observations. If the marginalization is taken by the depth and location, the distribution of magnitude classes is obtained given the hidden states. If the marginalization is taken by the depth and magnitude, the distribution of locations is obtained given hidden states. These probabilities are presented in Table 3.

This conditional distribution of magnitude classes presented in Table 3 gives the conditional probability,

Table 3. Marginal distribution of earthquake class given the hidden states

	State I	State II
1: $M \in [3.0, 3.3)$	0.5650	0.3747
2: $M \in [3.3, 3.6)$	0.2798	0.2889
3: $M \in [3.6, 3.9)$	0.0813	0.1624
4: $M \geq 3.9$	0.0739	0.1740

$$P(M = m | X_i = j), \quad j = 1, 2 \text{ and } m = 1, 2, 3, 4. \quad (5)$$

For instance, given that stress level is low, the probability of observing an earthquake with a magnitude greater than or equal to 3.9 is 0.0739. It is seen from the magnitude distribution that when the stress level is low, there is a tendency of occurring non-violent earthquakes. The probabilities of class 1 and class 2 are much greater than the probabilities of class 3 and class 4. However, the same conclusion cannot be made for the high-stress level. The probabilities of class 3 and class 4 for the high-stress level are approximately two times greater than that of the low-stress level. And also the probabilities of class 1 and class 2 for the high-stress level are much lower than that of the low-stress level. The tendency of occurring earthquakes with higher magnitude increases when the stress level is high.

Table 4. Marginal distribution of location given the hidden states

	State I	State II
Mytilene Island (L_I)	0.3666	0.3385
Aegean Sea (L_{II})	0.6334	0.6615

The conditional distributions related to locations presented in Table 4, gives the probability,

$$P(L = l | X_i = j), \quad j = 1, 2 \text{ and } l = L_I, L_{II}. \quad (6)$$

For instance, the probability of observing an earthquake in Mytilene Island is 0.3666 given that the stress level is low. The location distribution shows that the number of earthquakes that the Aegean Sea is exposed, is more than that of the Mytilene Island for both low and high-stress levels.

The joint observation probability distribution of the magnitude and location is obtained by obtaining the marginalization of depth.

Table 5. Joint distribution of location and magnitude given the hidden states

	State I	State II
$L_I, M \in [3.0, 3.3]$	0.2765	0.1479
$L_I, M \in [3.3, 3.6]$	0.0768	0.1163
$L_I, M \in [3.6, 3.9]$	0.0095	0.0464
$L_I, M \geq 3.9$	0.0038	0.0279
$L_{II}, M \in [3.0, 3.3]$	0.2885	0.2268
$L_{II}, M \in [3.3, 3.6]$	0.2030	0.1726
$L_{II}, M \in [3.6, 3.9]$	0.0718	0.1160
$L_{II}, M \geq 3.9$	0.0701	0.1461

The conditional joint distribution of magnitude and location presented in Table 5 gives the probability,

$$P(M = m, L = l | X_t = j), \quad j = 1, 2 \text{ and } m = 1, 2, 3, 4 \text{ and } l = L_I, L_{II}. \tag{7}$$

From Table 5, the probability of observing an earthquake in Mytilene Island with a magnitude between 3.3 and 3.6 is 0.0768. Note that the sum of observation probabilities for each hidden state is equal to one.

Apart from the marginal and joint probabilities for magnitude and location with the condition of hidden states, it is possible to obtain unconditional probability distribution for each observation by using the limiting probabilities of hidden states. Using the estimated transition probability matrix (\hat{P}), it is possible to compute the limiting distribution of hidden states. Let w be the vector of steady-state probabilities, then

$$w = [w_1, w_2] = [0.6699, 0.3301]. \tag{8}$$

The limiting probabilities can be considered as the weights and the weighted means of hidden states are calculated for the conditional probability distributions. Then, the marginal probability distribution of magnitude variable given in Table 6 is obtained as,

$$P(M = m) = \sum_{j=1}^2 w_j b_{jm}(k), \quad m = 1, 2, 3, 4. \tag{9}$$

Table 6. Marginal distribution of magnitude class

	1:	2: $M \in [3.3, 3.6]$	3:	4: $M \geq 3.9$
$P(M=m)$	0.5022	0.2828	0.1080	0.1070

The marginal probability distribution of location variable given in Table 7 is obtained as,

$$P(L = l) = \sum_{j=1}^2 w_j b_{jl}(k), \text{ where } l = L_I, L_{II}. \tag{10}$$

Table 7. Marginal Distribution of Location

	Mytilene Island (L_I)	Aegean Sea (L_{II})
$P(L=l)$	0.3574	0.6426

The joint probability distribution of magnitude and location variables given in Table 8 is obtained as,

$$P(M = m, L = l) = \sum_{j=1}^2 w_j b_{jml}(k), \text{ where } m = 1, 2, 3, 4 \text{ and } l = L_I, L_{II}. \tag{11}$$

Table 8. Joint distribution of location and magnitude

	Mytilene Island (L_I)	Aegean Sea (L_{II})
1: $M \in [3.0, 3.3]$	0.2341	0.2681
2: $M \in [3.3, 3.6]$	0.0898	0.1930
3: $M \in [3.6, 3.9]$	0.0216	0.0864
4: $M \geq 3.9$	0.0119	0.0951

To check the independency of the random variables magnitude, location, and depth, we check the following equality.

$$P(M = k)P(L = m) = P(M = k, L = m)$$

For instance, $P(M=1)=0.5022$ and $P(L=L_I)=0.6426$ and their product is 0.3227. On the other hand, their joint probability is $P(M=1, L=L_I)=0.2681$. Hence, it can be concluded that these two random variables are not independent. So, including magnitude, location and depth variables together give more accurate results.

Having estimated the hidden state sequence, now it is possible to estimate the exponential distribution parameters for each hidden state. Inter-event times for state 1 (low-stress level) follows an exponential distribution with $\hat{\lambda}_1 = 0.1723$ and inter-event times for state 2 (high-stress level) follows an exponential distribution with $\hat{\lambda}_2 = 0.2025$

. So, the mean times until the next earthquake can be calculated using the parameters, that is, $\mu_1 = \frac{1}{\lambda_1} = 5.8048$ days and $\mu_2 = \frac{1}{\lambda_2} = 4.9371$ days, for each state respectively. The mean waiting time until the next earthquake is larger for the low-stress level than that of the high-stress level. That is, when the stress level is high, it is more likely to occur an earthquake more quickly. The mean waiting time ($E(t)$) is calculated with a mixture of two non-identical and independent exponential distributions ($\hat{\lambda}_1$ and $\hat{\lambda}_2$). Let p_j is the probability of observing an inter-event time from the j th hidden state and note that $\sum_{j=1}^2 p_j = 1$. Two proportions p_1 and p_2 are estimated using the 1106 inter-event time according to which hidden state it was generated. The estimated values of proportions based on hidden states are, $\hat{p}_1 = 0.5844$ and $\hat{p}_2 = 0.4156$. It means that 58.44% of the inter-event times are emitted at the low-stress level and 41.56% of the inter-event times are estimated at the high-stress level. So, the mean waiting time between two successive earthquakes is, $E(t) = \sum_{j=1}^2 \frac{p_j}{\lambda_j} = 5.4441$ days. Besides, the mean rate of the distribution ($\hat{\lambda}$) can be obtained as $\hat{\lambda} = \frac{1}{5.4441} = 0.1836$.

Short-term probability forecasting. It is possible to give forecasts of short-term probabilities for earthquake occurrences. The aim is to find the probability of earthquake occurrence in a region, in t days. For this purpose, we must use the joint probability distribution of magnitude (M), location (L), and inter-event time (T). It has been assumed before that inter-event time is independent of other variables. So, the joint probability distribution of M, L , and T can be obtained by the production of the joint distribution of M and L , and distribution of T . So, the probability of observing an earthquake at a magnitude class k at one of two locations in t days is,

$$P(M = k, L = l, T \leq t) = P(M = k, L = l) (1 - e^{-\hat{\lambda}t}) \quad (12)$$

where $M = 1, 2, 3, 4, l = L_I, L_{II}$, and $t \geq 0$.

If the time index t goes to infinity, the probabilities approach to some limiting values given in section 2.4. and become independent of t . We already know that the probability distributions defined in section 2.4 hold the conditions to be a probability function. So, the joint probability distributions of the variables M, L , and T also hold the conditions to be a probability function under the limiting case.

We can make short-term forecasting for all the elements of the variable vector. Note that observations only depend on the related hidden states according to the HMM assumptions. Table 9 shows the short-term probabilities of observing earthquakes in one week.

According to Table 9, the probabilities of occurring an earthquake in any region increases as t goes to infinity. When $t \rightarrow \infty$, the probabilities converge to the joint probabilities given in Table 8. Suppose that today an earthquake occurred. Then, the probability of occurring an earthquake with the magnitude between [3.0, 3.3) in the Aegean Sea deficits in 5 days is,

$$P(M = 1, L = L_{II}, T \leq 5) = 0.1610. \quad (13)$$

4. Discussion and Conclusion

HMM is used to model the earthquake occurrences in the Aegean Sea region. Among the possible models, the most likely model is selected by AIC and BIC after the learning problem. Model parameters are estimated by the Baum-Welch algorithm. The traditional Baum-Welch algorithm allows only one observation to perform the iterations. Different from the existing studies, three types of variables which are magnitude, location, and depth are represented as a one-dimensional random variable to perform the algorithm. This procedure allowed us to estimate the model

Table 9. One-week earthquake occurrence probabilities

Event	t (in days)							
	1	2	3	4	5	6	7	∞
$M = 1, L = L_I$	0.0393	0.0719	0.0991	0.1218	0.1406	0.1563	0.1693	0.2341
$M = 2, L = L_I$	0.0150	0.0276	0.0380	0.0467	0.0539	0.0599	0.0649	0.0898
$M = 3, L = L_I$	0.0036	0.0066	0.0091	0.0112	0.0130	0.0144	0.0156	0.0216
$M = 4, L = L_I$	0.0020	0.0036	0.0050	0.0062	0.0071	0.0079	0.0086	0.0119
$M = 1, L = L_{II}$	0.0449	0.0824	0.1135	0.1394	0.1610	0.1789	0.1939	0.2681
$M = 2, L = L_{II}$	0.0323	0.0593	0.0817	0.1004	0.1159	0.1288	0.1396	0.1930
$M = 3, L = L_{II}$	0.0145	0.0265	0.0366	0.0449	0.0519	0.0577	0.0625	0.0864
$M = 4, L = L_{II}$	0.0159	0.0292	0.0403	0.0495	0.0571	0.0635	0.0688	0.0951

parameters with more information. Studies on this subject generally consider only one variable as an observation. In this case, the effects of other variables on the estimation of earthquake occurrence probability are ignored, resulting in loss of information and inconsistent forecasts. After the parameter estimation, marginal and joint probability distributions of magnitude and location are obtained using the observation probability distribution. Since there is usually only one observation in other studies, the joint probability function can not be obtained. However, with the approach in our study, the joint and marginal probability distributions of depth, location, and magnitude variables can be obtained. Inter-event times are assumed to be exponential and the mean rate of the times between earthquakes is estimated by the mean waiting time of two non-identical and independent exponential distributions. The mean time until the next earthquake is obtained. It is concluded that the mean time until the next earthquake is larger for the low-stress level than that of for high-stress level. When the stress level is high, it is more likely to occur an earthquake more quickly so, this is an expected result. It is obvious that the inter-event times between successive earthquakes will affect the magnitude of the next earthquake. In this context, there is a lack of information in studies that do not include inter-event times to the model and that fit discrete-time modeling.

The proposed model is capable of forecasting the probabilities of short-term earthquake occurrences using the magnitude and the location information. The joint probability distribution of magnitude, location, and inter-event time is obtained. The presented joint distribution has the properties of a probability distribution function. Probability distribution approaches its limiting value when the time index t goes to infinity. An observer is capable of learning the probability of an earthquake occurring in a region within a magnitude class in the short-term.

Further Study. The dependency structure between the observations and hidden states can be studied in more detail. Different dependency structures may be considered. Besides, a possible interest may be the frequencies of earthquake occurrences or the estimation of severe earthquake arrival times. As in this study and other studies, obtaining a joint distribution function of inter-event time and other variables, instead of assuming that the inter-event time is independent becomes a challenging topic for future studies.

Acknowledgement

The authors would like to thank the anonymous referees for their invaluable and helpful comments for the improvement of the study.

5. References

- Akaike, H. 1974.** A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Automat. Control*, 19:716-723. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1694-0_16
- Alvarez, EE. 2005.** Estimation in stationary Markov renewal processes, with application to earthquake forecasting in Turkey. *Methodol. Comput. Appl.*, 7:119-130. <https://doi.org/10.1007/s11009-005-6658-2>
- Anagnos, T., Kiremidjian, AS. 1988.** A review of earthquake occurrence models for seismic hazard analysis. *Probab. Eng. Mech.*, 3:3-11. [https://doi.org/10.1016/0266-8920\(88\)90002-1](https://doi.org/10.1016/0266-8920(88)90002-1)
- Baum, LE., Petrie, T. 1966.** Statistical inference for probabilistic functions of finite state Markov chains. *Ann. Math. Stat.*, 37:1554-1563. <http://dx.doi.org/10.1214/aoms/1177699147>
- Baum, LE., Petrie, T., Soules, G., Weiss, N. 1970.** A maximization technique occurring in the statistical analysis of probabilistic functions of Markov chains. *Ann. Math. Stat.*, 41:164-171. <http://dx.doi.org/10.1214/aoms/1177697196>
- Chambers, DW., Baglivo, JA., Ebel, JE., Kafka, AL. 2012.** Earthquake forecasting using hidden Markov models. *Pure Appl. Geophys.*, 169:625-639. <https://doi.org/10.1007/s00024-011-0315-1>
- Chambers, DW., Ebel, JE., Kafka, AL., Baglivo, JA. 2003.** A hidden Markov approach to modeling interevent earthquake times. *Eos. Trans. AGU Fall. Meet. Suppl.*, 84(46), Abstract S52F-0179
- Ebel, JE., Chambers, DW., Kafka, AL., Baglivo, JA. 2007.** Non-Poissonian earthquake clustering and the hidden Markov model as bases for earthquake forecasting in California. *Seismol. Res. Lett.*, 78:57-65. <http://dx.doi.org/10.1785/gssrl.78.1.57>
- Granat, R., Donnellan, A. 2002.** A hidden Markov model based tool for geophysical data exploration. *Pure Appl. Geophys.*, 159:2271-2283. <https://doi.org/10.1007/s00024-002-8735-6>
- Masala, G. 2012.** Earthquakes occurrences estimation through a parametric semi-Markov approach. *J. Appl. Stat.*, 39:81-96. <https://doi.org/10.1080/02664763.2011.578617>
- Orfanogiannaki, K., Karlis, D., Papadopoulos, GA. 2010.** Identifying seismicity levels via Poisson hidden Markov models. *Pure Appl. Geophys.*, 167:919-931. <https://doi.org/10.1007/s00024-010-0088-y>

- Pertsinidou, CE., Tsaklidis, G., Papadimitriou, E., Limnios, N. 2017.** Application of hidden semi-Markov models for the seismic hazard assessment of the North and South Aegean Sea, Greece. *J. Appl. Stat.*, 44:1064-1085. <http://dx.doi.org/10.1080/02664763.2016.1193724>
- Reid, H.F. 1910.** The mechanics of the earthquake, the California earthquake of April 18, 1906. Report of the state investigation commission, vol 2. Carnegie Institution of Washington, Washington D.C. (reprinted in 1969).
- Sadeghian, R. 2012.** Forecasting time and place of earthquakes using a semi-Markov model (with case study in Tehran province). *J. Ind. Eng. Int.*, 8:20. <https://doi.org/10.1186/2251-712X-8-20>
- Schwarz, GE. 1978.** Estimating the dimension of a model. *Ann. Statist.*, 6:461-464. <https://www.jstor.org/stable/2958889>
- Tiampo, KF., Shcherbakov, R. 2012.** Seismicity-based earthquake forecasting techniques: Ten years of progress. *Tectonophysics*, 522-523:89-121.
- Vere-Jones, D. 1978.** Earthquake prediction: a statistician's view. *J. Phys. Earth.*, 26:129-146. <https://doi.org/10.4294/jpe1952.26.129>
- Viterbi, AJ. 1967.** Error bounds for convolutional codes and an asymptotically optimum decoding algorithm. *IEEE Trans. Inf. Theory*, 13:260-269. DOI:10.1109/TIT.1967.1054010
- Votsi, I., Limnios, N., Tsaklidis, G., Papadimitriou, E. 2012.** Estimation of the expected number of earthquake occurrences based on semi Markov models. *Methodol. Comput. Appl. Probab.*, 14:685-703. <https://doi.org/10.1007/s11009-011-9257-4>
- Votsi, I., Limnios, N., Tsaklidis, G., Papadimitriou, E. 2013.** Hidden Markov models revealing the stress field underlying the earthquake generation. *Physica A*, 392:2868-2885. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2012.12.043>
- Votsi, I., Limnios, N., Papadimitriou, E., Tsaklidis, G. 2019.** Earthquake statistical analysis through multi-state modeling. Wiley, New Jersey.
- Yip, CF., Ng, WL., Yau, CY. 2018.** A hidden Markov model for earthquake prediction. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, 32:1415-1434. <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1457-1>



Experimental and Numerical Analysis of Using Thermoelectric Generator Modules on Hexagonal Exhaust Heat Exchanger

Altıgen Egzoz Eşanjöründe Termoelektrik Jeneratör Modüllerinin Kullanımının Deneysel ve Sayısal Analizi

Beytullah Erdogan* , Kağan Duran , İbrahim Zengin 

Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Zonguldak, Turkey

Abstract

Nowadays, many vehicles have internal combustion engines. In the cities, millions of vehicles affect badly the environment with their emissions due to fossil fuel. Besides of harmful pollution gases, a huge amount of energy is lost from the exhaust on internal combustion engines. It is possible to recover some part of the waste heat from the exhaust duct with advanced technological applications. Electricity generation from vehicle exhaust waste heat with thermoelectric generators is a highly attractive energy recovery application area in which many studies have been done recently. Thermoelectric generators are special semiconductor materials that produce electricity from the temperature difference between the surfaces by touching the hot source and heat sink. Recovering some part of the waste heat is extremely important in terms of contributing to reducing the pollution rate to unit energy production. In this study, the thermoelectric generator application was investigated experimentally with a hexagonal exhaust heat exchanger manufactured using aluminum material and 24 pieces TEG (Thermoelectric Generator) modules placed between liquid fluid copper cooling blocks and aluminum exchanger. The model was cooled by a cooling system similar to the engine cooling system. Pure water (100%) and ethylene glycol-pure water (50-50%) were used as a coolant fluid and the effect of fluid type was investigated. In cases which the fan is constantly running and Ethylene Glycol-Pure Water (50-50%) is used as the cooling fluid, 10.678W electricity was generated. In addition, it was determined that the energy-production increases with a deflector which was located to the exchanger's fluid volume center via the ANSYS CFD program on the manufactured model geometry. In the analyzes, it has been revealed that the deflector increases the temperatures on the surfaces that TEG modules are placed.

Keywords: TEG, ETEG, Waste heat recovery, Thermoelectric, Thermoelectric module, CFD


Öz


Günümüzde trafikteki şehirlerde içten yanmalı motorlar bulunan milyonlarca araç fosil yakıt kaynaklı emisyonlarıyla çevreyi kötü etkilemektedirler. Zararlı kirletici gazların yanı sıra, içten yanmalı motorlarda egzozdan büyük miktarda enerji de kaybedilir. İleri teknolojik uygulamalarla egzozdan gazlarla birlikte çıkan atık ısının bir kısmını geri kazanmak mümkündür. Termoelektrik jeneratörlerle (TEJ) egzoz atık ısısından elektrik üretimi, son zamanlarda birçok çalışmanın yapıldığı, popüler bir enerji geri kazanım uygulama alanıdır. TEJ'ler, sıcak kaynak ve bir soğutucuya dokunarak yüzeyler arasındaki sıcaklık farkından elektrik üreten özel yarı iletken malzemelerdir. Atık ısının bir kısmının geri kazanılması, birim enerji üretimine düşen kirlilik oranının azalmasına katkı sağladığından son derece önemlidir. Bu çalışmada, alüminyum malzemeden imal edilmiş altıgen egzoz eşanjörü ve sıvı soğutucu akışkan dolaştırılan bakır soğutma blokları arasına yerleştirilen 24 adet TEJ modülleri ile Termoelektrik jeneratör uygulaması deneysel olarak incelenmiştir. Model, motor soğutma sistemine benzer bir soğutma sistemi ile soğutulmuştur. Soğutucu akışkan olarak saf su (%100) ve etilen glikol-saf su (%50-50) kullanılmış ve akışkan etkisi araştırılmıştır. Fanın sürekli çalıştığı ve soğutma sıvısı olarak Etilen Glikol-Saf Su (%50-50) kullanıldığı durumlarda 10.678W elektrik üretilmiştir. Ayrıca imal edilen model geometrisi üzerinde CFD programı aracılığıyla eşanjörün akışkan hacminin merkezine yerleştirilen dağıtıcıların enerji üretiminin arttırılabileceği durumlar incelenmiştir. Dağıtıcılar TEJ'lerin yerleştirildiği yüzey sıcaklığını arttırmıştır.

Anahtar Kelimeler: TEJ, ETEJ, Atık ısı geri kazanımı, Termoelektrik, Termoelektrik modül, HAD

*Corresponding author: beytullaherdogan@hotmail.com

Beytullah Erdogan  orcid.org/0000-0002-6120-9196

Kağan Duran  orcid.org/0000-0002-3743-086X

İbrahim Zengin  orcid.org/0000-0002-6261-7490

1. Introduction

Millions of vehicles in traffic are discharging harmful emissions from the exhaust to the environment everyday. Especially, one of the causes of air pollution is a car exhaust gases in the big cities (Bolatlı, 2019). There are so many studies to reduce exhaust pollution on combustion and exhaust systems (Ziolkowski, 2017). The main aim of all these studies is to improve the relation between engine efficiency and exhaust cleaning applications. Internal combustion engines discharge a huge amount of heat as well as harmful emissions (Jaziri et al., 2019). A conventional internal combustion engine uses only %25 of the energy generated by the fuel combustion but loses about %40 with exhaust gases (Hatami and Ganji, 2015). Some parts of the exhaust heat can be transformed into usable energy in the vehicle.

Thermoelectric generators are the most attractive applications that increase efficiency by recovering energy from exhaust waste heat. Thermoelectric material performance is determined by the thermoelectric figure of merit, defined as

$$ZT = a^2 \sigma / k \quad (1)$$

where a, σ, k are the Seebeck coefficient, electrical conductivity, thermal conductivity of materials, respectively, and T is the absolute temperature (Zhang et al., 2015). Backpressure has a very important effect for the design of TEG heat exchanger (Ioffe et al., 1959). When backpressure has changed, engine conditions also can be changed negatively (Kumar et al, 2018). Choosing outer geometry for the exhaust heat exchanger is another key point for efficiency. Generally, TEG modules are located on the heat exchanger surfaces. Some of the applications for more space on surfaces need polygon geometry design. Also, the inner region of the exchanger can be arranged with baffle plates fins, or deflectors. Predesign and analysis via ANSYS FLUENT can be helpful to choose a more effective heat recovery model (Nour et al., 2019). Heat exchanger's different types of internal structures are possible to improve surface temperature and uniformity (Deng et al, 2013, and Cherkez, 2012). Thermoelectric generator application can be done without adding any parts to the vehicle's exhaust line. The muffler is a typical part of the exhaust line. it is possible to use a muffler as a thermoelectric generator heat exchanger. When a muffler is used in two ways, the inner structure should be proper a noise absorber as well as an effective heat exchanger (Deng et al., 2016).

Heat exchangers have importance in order to obtain a certain temperature difference for TEGs. The thermal characteristics of the fluid passing through the cooling blocks designed to cool a surface are also among the other important parameters for heat transfer. It is quite common in the literature to increase thermal properties by using various nanofluids. It is possible to further improve the thermal characteristics by applying a magnetic electric field in liquid metal flows as the working fluid. It has been stated that the increase in magnetic and electrical fields also increases the cooling process (Selimli et al., 2018). Yayla et al. have benefited from the vibrations occurring in the piezoelectric material for the alternative electricity generation method. They evaluated different vortex generator designs in the water channel in terms of turbulence kinetic energy generation as both experimental and numerical (Yayla et al., 2020).

In this study, exhaust waste heat recovery is purposed with a TEG heat exchanger. A hexagonal aluminum exchanger model was used and the performance on the exhaust pipeline of a diesel internal combustion engine (ICE) was experimentally investigated. The temperature of TEG surfaces was investigated numerically via ANSYS FLUENT by adding the inner deflector to the center of the empty heat exchanger model. Also, the empty model was investigated on CFD, and it was compared the changing of surface temperature for three cases (Experimental, empty model numerical, and deflector model numerical). It was simulated at the engine maximum working conditions in all analysis.

2. Materials and Methods

The heat exchanger for Thermoelectric Generator is located on a diesel engine exhaust pipe. Hot and cold sides of TEG modules have touched to waste gas heat source and fluid flow cooling block heat sink (Temizer, 2014). Figure 1 shows an aluminum heat exchanger model designed to use in the study ($D_1=50$ mm, $D_2=97$ mm, $L_1=230$ mm, $L_2=510$ mm). The hexagonal heat exchanger is made of aluminum with 2 mm thickness. For cold sides, cooling blocks are designed as 1.2 mm wall thickness copper rectangular tube. Cooling blocks should be fit and covered all TEG groups on surfaces (Topalci, 2017).

Thermoelectric Generator modules convert directly heat into electricity. Commercial modules usually are made of some semiconductor special materials placed between two porcelain plates as shown in Fig. 2a. Porcelain is both

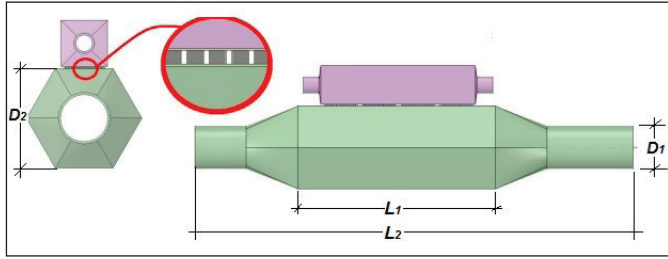


Figure 1. Heat exchanger model.

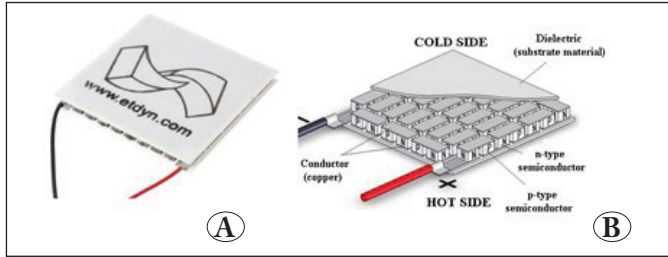


Figure 2. A) TEG module, B) TEG inner parts.

electrically and thermally non-conductive material. Two type p and n semiconductors (pellets) are inside of TEG. Pellets are connected electrically serial and thermally parallel. Fig. 2b. shows thermoelectric bridges (P-N), which should be made of a material with a high Seebeck coefficient, high electrical conductivity, and low thermal conductivity. Copper is used as due to effective conductivity between pellets. The thermoelectric module used for the experiments is made of Bi₂Te₃ semiconductor alloys. TEG modules produce continuously DC voltage due to the temperature difference across the heat exchanger (Orr et al., 2017).

The hexagonal exhaust pipe was placed to the nearest of the engine exhaust line for the highest temperature. In addition, the exhaust pipe between the engine and the heat exchanger was isolated to prevent the heat loss to improve TEG performance (Kim et al., 2018). Cooling system: pure water and ethylene glycol-water mixture passing through the copper blocks is cooled with a radiator fan set, same as on conventional internal combustion engine cooling system. TEG can produce electricity directly due to temperature difference ΔT with the Seebeck effect. Voltage can be calculated with Eq.2. V_{oc} shows open-circuit voltage, a_{pn} shows Seebeck coefficients difference n-p pairs of modules. Power (P_{elec}) can be calculated with Eq.3. I shows current, R_L shows load resistance (Lin, and Kiflemariam, 2019). Equations 3 and 4 are expressions representing the conversion of heat to electrical power. Max. Power generation of TEG is related to ΔT but ZT value is an important parameter

determining the limited capacity of the module (Korotkov et al., 2017).

$$V_{OC} = a_{pn} \Delta T \quad (2)$$

$$P_{elec} = I^2 R_L \quad (3)$$

$$P_{elec} = P_{Heat} \eta \quad (4)$$

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_h} \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + (T_c/T_h)} \quad (5)$$

2.1. Experimental study

The experiments were carried out by increasing the engine speed gradually, in four steps. The single-cylinder diesel engine was operated without load during all test stages. The exhaust gas temperature cannot be expected to be too high because a light diesel engine was used in the experiment. So, before a heat exchanger design, it was measured gas temperatures across the exhaust streamline. When the engine was worked without load maximum speed point, the exhaust gas pipe surface temperature was between 463-478 K. The European Thermodynamics company's GM250-127-14-10 TEG model was selected for high efficiency at low temperatures (Liu et al., 2014). TEG model parameters for the ideal maximum working condition can be seen in Table 1.

Table 1. GM250-127-14-10 TEG module parameters.

Parameters for hot side temp 523 K and cold side temp 303 K	
Matched load output power	9.9W
Matched load resistance	2.49Ω ± 15%
Open circuit voltage	9.93V
Matched load output	2A
Matched load output voltage	4.96V
Heat flow through the module	~198W
Maximum compress (non-destructive)	1.2MPa
Maximum operation temperature	Hot side ~523 K, Cold side ~448 K

During the experiment, temperatures were measured with k type thermocouples at inlet-outlet; for exhaust gas, cooling block surface, and exchanger surface. Also, the cooling fluid temperature was measured with an infrared thermometer. The engine speeds were recorded on the first experiments at four steps and these values were settled for the next repeats. In each step, the flow rate of the fluid passing through the coolant copper blocks was set at 1.5 l/min with an equal flow distributor. Fuel consumption was measured with a flow

meter and determined mass flows. Electricity production values in the unit of Ampere, Volt were measured with a multimeter and recorded at engine speeds 1058 rpm, 1320 rpm, 1637 rpm, and 1929 rpm. The experimental system is shown in Fig. 3.

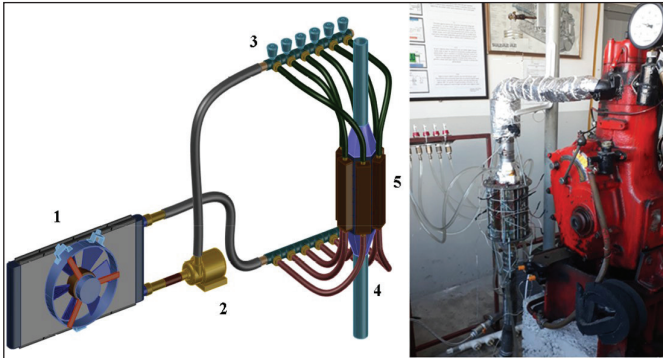


Figure 3. Experimental system, 1- radiator, 2- pump, 3- adjustable flow collector, 4- exhaust line, 5- cooling blocks.

2.2. Numerical Modelling

CFD approach was preferred to investigate the performance effect when the changed inner structure of the heat exchanger as seen in Fig. 4. The inner deflector was placed to the center of the heat exchanger model to increase surface temperature and it was investigated the effects of different deflector models via ANSYS FLUENT (Nozariasbmarz et al., 2019).

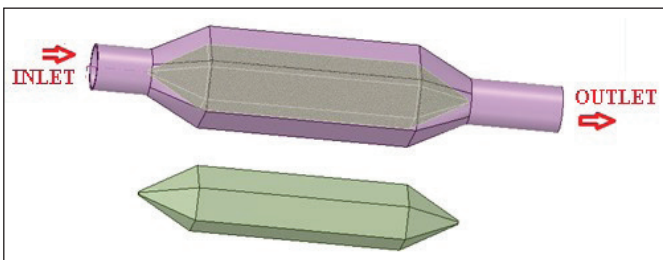


Figure 4. Heat exchanger deflector model.

Boundary conditions; the inlet flow was chosen as mass flow inlet 4.27 g/s measured at maximum experimental engine speed 1929 rpm. It was chosen carbon-oxide-nitride as exhaust gas in FLUENT. All outer surfaces exposed to air are subject to free heat convection with a free heat transfer coefficient taken as 10W/m²K (Li et al. 2016). Also the standard κ - ϵ model and turbulent flow was chosen (Ravi et al., 2017). Pressure-based solution method was used in the analyzes. Other boundary conditions can be seen in Table 2.

Table 2. CFD boundary conditions

Boundary condition	Parameters
Inlet mass flow	4.27 g/s
Inlet temperature	504 K
Outer temperature	290 K
Heat transfer coefficient	10 W/m ² K
Turbulence intensity	10%

The model created for numerical analysis was analyzed in 5 different mesh numbers and the independence of the results was evaluated. The mesh independence study is given in Table 3. The average skewness value of the created mesh structures was determined as approximately 0.18, and the element quality value was determined as 0.48. The fact that the Skewness ideal value is close to 0 and the element quality ideal value is close to 1 does not pose a problem in terms of convergence. The mesh detail view of the model is given in Fig. 5. A special layer was applied to capture the boundary layer behavior of the flow.

Table 3. Mesh independence study

Analysis No.	Number of Nodes	Number of Elements	CFD Surface Temp. (K)
1	337504	305982	427
2	343143	311500	428
3	533352	487812	427.9
4	847666	726480	428
5	1648818	1449018	428

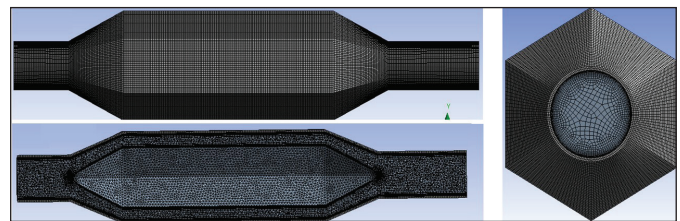


Figure 5. Mesh detail view.

3. Results and Discussion

For the first step, when used pure water as cooling fluid, the engine was run at 1058 rpm without load. In this case, the exhaust heat exchanger hot surface average temperature was 349 K, then engine speed was gradually increased. The maximum hot surface average temperature was measured as 419 K, and engine speed was measured as 1928 rpm. For maximum engine speed, 25V open-circuit voltage was produced and 10.298 W Power was obtained. Temperatures

at all experimental steps can be seen in Fig. 6, and power values at experimental steps can be seen in Fig. 7.

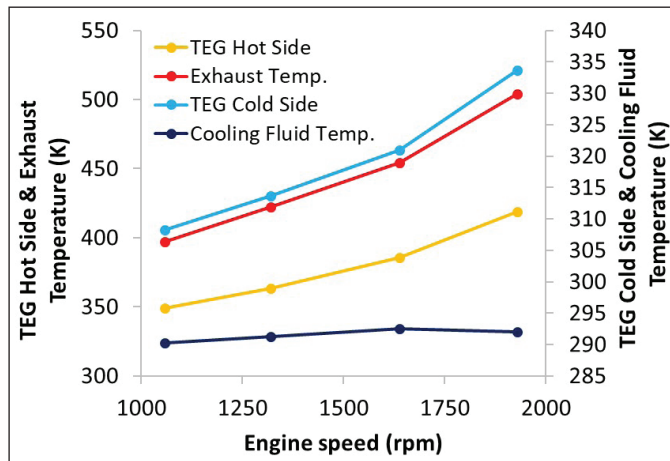


Figure 6. Temperatures at all experimental steps.

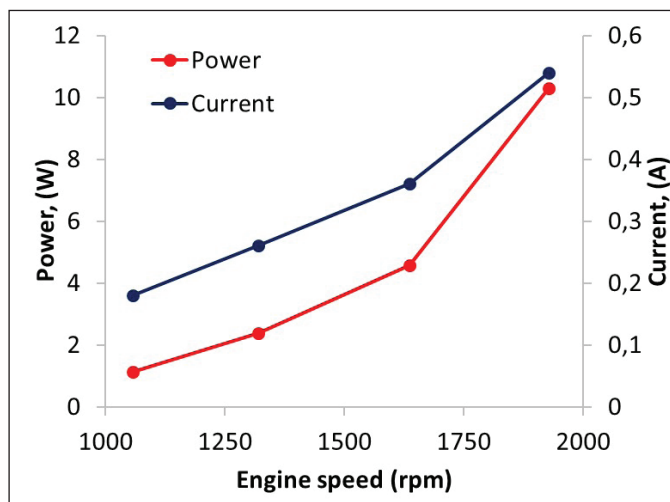


Figure 7. Experimental power.

The experimental setup was tested one more time at the same engine speeds under no-load with ethylene glycol-water mixture. The maximum hot surface average temperature was measured as 417 K, and engine speed was measured as 1928 rpm. Also at this operating conditions, 25.1 V open-circuit-voltage and 10.6 W power was produced.

The heat exchanger model inlet gas temperature was chosen as the highest temperature 504 K obtained from experiments for CFD analysis. For the heat exchanger with the inner deflector model and empty model, the changing of surface temperature was compared to each other and experimental results. When the numerical results and the experimental results are compared; at the experimental results, the highest temperature value was recorded as 437 K for the inlet surface of the hexagonal heat exchanger. As a result of the analysis, the inlet temperature of 427.1 K was reached on the surface. A deviation value of 9.9 K was reached. It can be seen temperature analysis for the empty model and with the deflector model in Figure 8.

The deflector model was placed at the center of the hexagonal heat exchanger and maximum surface temperature was measured as 439 K. In the analysis performed, the average highest measured temperature value has increased by about 11.9 K compared to the empty model. It is shown in Fig. 8 (b) the change of temperature across the exchanger surface.

A vortex pattern was observed at the result of empty heat exchanger model flow analysis but the heat exchanger deflector model flow was smooth at the same flow condition. The model with inner structure and empty model can be seen in Fig. 9. In all cases inlet surface temperatures are shown in Fig. 10.

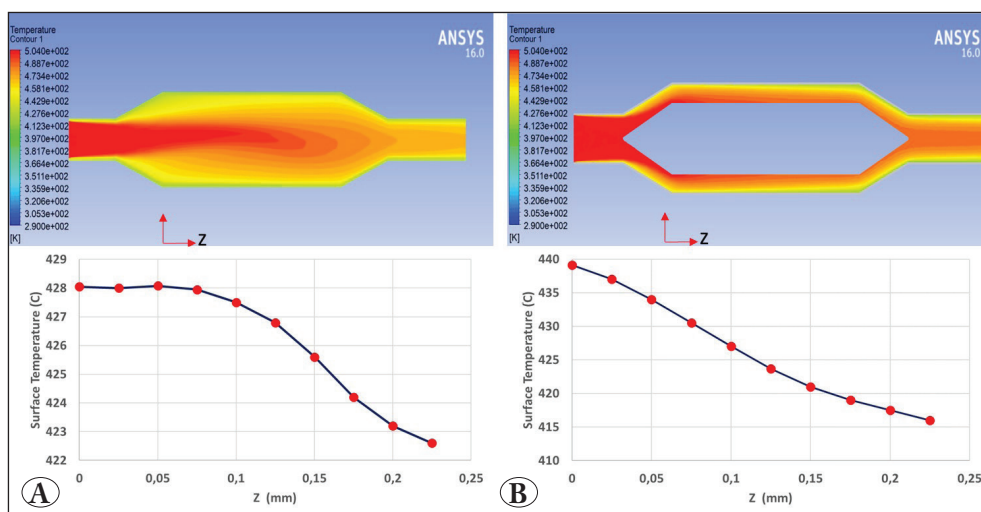


Figure 8. Temperature contour and surface temperature change for (A) empty model, (B) model with deflector.

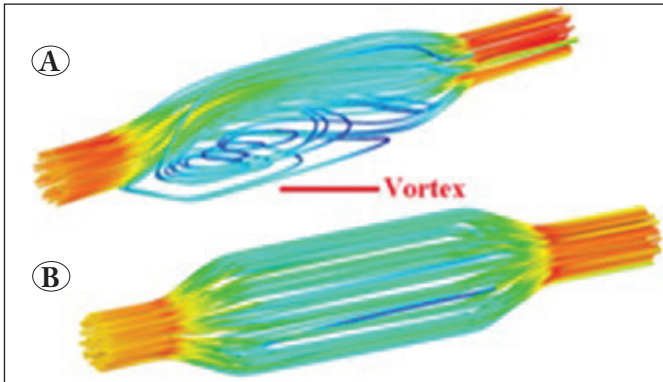


Figure 9. Streamlines for A) empty model, B) deflector model.

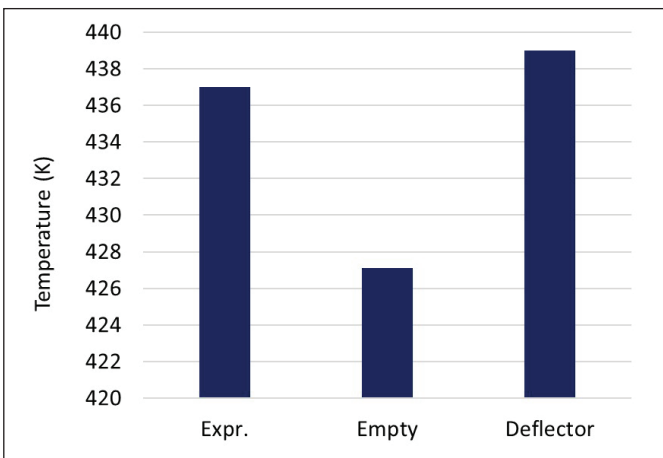


Figure 10. Inlet surface temperatures.

The difference of this study compared to other studies is that a 10.678W power increase was obtained by performing an experimental study at real temperature (437 K) and number of revolutions (1929 rpm) in a single cylinder tractor engine. In addition, it has been calculated that this increase can be increased by 3.3% by performing CFD analysis with different geometries. In other studies, generally, 1800-3000 number of revolutions and 350-400 K temperatures have been carried out, and 5-17 W power values have been obtained.

4. Conclusions

This study examines the efficiency of electricity generation using a heat exchanger and TEG modules on the exhaust line of a light diesel engine. At the same time, different models of the heat exchanger designed for the exhaust line were investigated to understand surface temperature change by using the CFD approach. When compared this study with other studies, it has been observed that as engine speed and inlet fluid temperature increases, the obtained power value

increases, that is, it shows a similar trend. In order to increase these power values, even more, more fluid must contact the exhaust surface. Further power increases can be achieved by designing different exhaust geometries that direct the fluid towards the surface. Also, it can be alternative methods changing the inner structure of the heat exchanger, model with fins and baffle plates are worth further investigation. In addition, Waste heat recovery is considered to be one of the best solutions for energy efficiency because it can improve energy efficiency by converting heat exhausted from plants and machinery to electric power. This technology would also prevent atmospheric temperature increases caused by waste heat, and decrease fossil fuel consumption by recovering heat energy, thus also reducing CO₂ emissions.

5. Acknowledgments

This research is financially supported by BAP Project (no: 2019-77654622-02), funded by Zonguldak Bülent Ecevit University, Turkey.

6. References

- Bolatlı, G. 2019.** Termoelektrik modül ile atık ısıdan elektrik üreten bir sistem uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı Sakarya, 72s.
- Cherkez, Radion. 2003.** Energy Characteristics of Permeable Thermoelements, *Jour. Elec. Materials*, 42(7); 480 - 483. Doi: 10.1109/ICT.2003.1287552.
- Deng, Y., Chunhua, L., and Panqi, C. 2016.** Research on Integration of Automotive Exhaust-Based Thermoelectric Generator with Front Muffler. *Conference SAE 2016 World Congress and Exhibition*. doi: 10.4271/2016-01-0203
- Hatami, M, and Ganji, DD. 2015.** Experimental Investigations of Diesel Exhaust Exergy Recovery Using Delta Winglet Vortex Generator Heat Exchanger. *Int. J. Therm. Sci.* 93 : 52-63. Doi.org/10.14741/Ijctet/22774106
- Ioffe, AF., Stil'bans, LS., Iordanishvili, EK., Stavitskaya TS., and Gelbtuch A. 1959.** Semiconductor Thermoelements and Thermoelectric Cooling, *Physics Today*, 12 (5): 42-47, Doi.org/10.1063/1.3060810
- Jaziri, N., Boughamoura, A., Müller, J., Mezghani, B., Tounsi, F., and Ismail, M. 2019.** A comprehensive review of Thermoelectric Generators: Technologies and common applications. *Energy Reports*, Doi:10.1016/j.egy.2019.12.011
- Kim, T. Y., Kwak, J., and Kim, B. 2018.** Energy harvesting performance of hexagonal shaped thermoelectric generator for passenger vehicle applications: An experimental approach. *Energy Conv. Man.*, 160: 14-21. Doi:0.1016/j.enconman.2018.01.032

- Korotkov, AS., Loboda VV., Makarov SB., and Feldhoff, A. 2017.** Modeling Thermoelectric Generators Using the ANSYS Software Platform: Methodology, Practical Applications, and Prospects. *Russian Microelectronics*, 46(2):131–38. Doi:10.1134/S1063739717020056
- Kumar, A., Ajay S., and Ashish V. 2018.** Study on Exhaust Heat Exchanger for Enhancement of Thermoelectric Power Generation by CFD, *IOSR-Jour. MCE* 15(5):74–85. Doi:10.9790/1684-1505017485
- Li, W., Paul MC., Siviter J., Montecucco, Knox AR., Sweet, T., Min, G. 2016.** Thermal Performance of Two Heat Exchangers for Thermoelectric Generators. *Case Studies Ther. Eng.* 8:164–75. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2016.06.008>
- Lin, CX., and Kiflemariam, R. 2019.** Numerical Simulation and Validation of Thermoelectric Generator Based Self-Cooling System with Airflow. *Energies* 12:40-52. Doi:10.3390/en12214052
- Liu X., Deng YD., Zhang K., Xu M., Xu Y., and Su CQ. 2014.** Experiments and simulations on heat exchangers in thermoelectric generator for automotive application. *Applied Ther. Eng.*, 71, 364-370, <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.07.022>.
- Nour, EA., Sara, H., Chalet, D., Faure, X., Aixala, L., and Cormerais, M. 2019.** Modeling and Simulation of a Thermoelectric Generator Using Bismuth Telluride for Waste Heat Recovery in Automotive Diesel Engines. *Jour. Elec. Material* 48:2036–2045 Doi:10.1007/s11664-019-06999-w
- Nozariasbmarz, A., Krasinski, JS., & Vashae, D. 2019.** N-Type Bismuth Telluride Nanocomposite Materials Optimization for Thermoelectric Generators in Wearable Applications. *Materials*, 12(9):15-29. Doi:10.1109/SPEC.2016.7846134
- Orr, B., Akbarzadeh, A., and Lappas, P. 2017.** An exhaust heat recovery system utilizing thermoelectric generators and heat pipes. *Applied Ther. Eng.*, 126:1185–1190. Doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.019
- Ravi, B., Surendra, B., and Abhishek, S. 2017.** CFD Analysis of Exhaust Heat Exchanger for Thermo-Electric. *J. Int. Eng. Heat Gen. Power*, 6 (8):62–73. Doi:10.5281/zenodo.839119
- Su, CQ., Wang, WS., Liu, X., and Deng, YD. 2014.** Simulation and experimental study on thermal optimization of the heat exchanger for automotive exhaust-based thermoelectric generators. *Case Studies Ther. Eng.*, 4:85–91. Doi:10.1016/j.csite.2014.06.002
- Selimli, S., and Recebli, Z. 2018.** Impact of electrical and magnetic field on cooling process of liquid metal duct magnetohydrodynamic flow. *Thermal Science*, 22: 263-271. <https://doi.org/10.2298/TSCI151110147S>
- Temizer, İ. 2014.** Termoelektrik jeneratörü kullanılan taşıtlarda egzoz gazlarından elektrik üretilmesi. *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 168s
- Topalçı, Ü. 2017.** Taşıt egzoz gazı atık ısı enerjisinden elektrik enerjisinin üretilmesi için termo elektrik jeneratörün modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 150s
- Yayla, S., Ayça, S., & Oruç, M. 2020.** A case study on piezoelectric energy harvesting with using vortex generator plate modeling for fluids. *Renewable Energy*, 157, 1243–1253. doi:10.1016/j.renene.2020.05.027
- Zhang, Y., Martin, C., Xiaowei, W., Nicholas, K., Luke, S., Jian, Y., Giri, J., and Lakshmikanth, M. 2015.** High-Temperature and High-Power-Density Nanostructured Thermoelectric Generator for Automotive Waste Heat Recovery. *Energy Conv. Man.* 9:46–50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.08.051>
- Ziółkowski, A., Fuć, P., and Dobrzyński, M. 2019.** Analysis of the construction of TEG thermoelectric generator using. *CFD AIP Conference Proceedings* 2078, 020052. <https://doi.org/10.1063/1.5092055>
- Ziółkowski, A. 2017.** Automotive Thermoelectric Generator Impact on the Efficiency of a Drive System with a Combustion Engine. *MATEC Conferences* 118. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711800024>.



Borlama İşlemi Uygulanmış Inconel 718 Süperalaşımın Mikroyapı, Aşınma ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Microstructure, Wear and Mechanical Properties of Boronized Inconel 718 Superalloy

Hüseyin Duran¹, Derviş Özkan^{1*}, Abdullah Cahit Karaoğlanlı²

¹Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

²Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, yüksek korozyon ve yüksek sürünme dayanımına sahip olan Inconel 718 Ni-esaslı süperalaşım malzemenin borlama işlemi uygulandıktan sonraki aşınma davranışı incelenmiştir. Inconel 718 altlık malzemesine 950°C'de Ekabor-II tozu ortamında 4, 8 ve 16 saatlik süreli periyotlarda kutu borlama işlemi uygulanmıştır. Borlama prosesi sonucunda yapıda oluşan fazlar, oluşan kaplama tabakasının özellikleri ve aşınma özelliklerinin incelenmesi amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM), optik mikroskop analizi, X-ışınları difraksiyonu (XRD) analizi, sertlik ölçümleri ve aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri işlem görmemiş Inconel 718 ve farklı sürelerde borlanmış numunelere farklı yükler (3N, 5N, 10N ve 15N) altında, ileri-geri (reciprocating) aşınma testi uygulanarak aşınma yüzey profilleri elde edilmiş ve aşınma performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Numunelerin ayrıca sıralı sertlik değerleri belirlenmiştir. Karakterizasyon incelemeleri sonucunda Ni₂Si, Ni₄B₃ ve FeB fazından oluşmuş kaplama tabakaları elde edilmiştir. Aşınma testleri sonucunda aşınma dayanımı en iyi olan numunenin 950 °C'de 4 saatlik borlama süresine tabi tutulan numune olduğu ve oluşan aşınma mekanizmasının abrasif aşınma şeklinde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Borlama, Inconel 718, Mikroyapısal özellikler, Süperalaşım

Abstract

In this study, the wear resistance of Inconel 718 Ni-based superalloy, which has high corrosion and creep resistance but has limited use in tribological applications due to its low surface roughness was improved via boriding method. Pack-boriding process was applied on Inconel 718 substrate material at 950°C using Ekabor-II powder for 4, 8 and 16 hours boriding periods. Scanning electron microscopy (SEM), optical microscopy analysis, X-ray diffraction (XRD) analysis, microhardness measurements and tribological tests were performed to assess the effect of resulting phases and coating layer on the metallographic and mechanical properties of the borided specimens. In this study, Inconel 718 superalloy substrate was pack borided with boron and coal dust at 950°C for 4, 8 and 16 h. The phases formed in the samples as a result of the boronizing process and the effects of boron layer on the mechanical properties of the material were investigated. Reciprocating wear tests were applied under varying loads (3N, 5N, 10N and 15N) on the non-borided and borided samples and their wear performances were comparatively evaluated. The specimens' hardness ranking was determined. As a result of the characterization studies, layers consisting of Ni₂Si, Ni₄B₃ and FeB were detected. The sample with the best wear resistance was the one subjected to a boronizing time of 4 h at 950 °C. This result was further supported by the finding that, the hardest layer exhibiting the best diffusion behavior belonged to this sample. This was attributed to the formation of a uniform boride layer in the vertical direction from the surface and the high hardness of this layer.

Keywords: Wear, Boronizing, Inconel 718, Microstructural properties, Superalloy,

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: dervisozkan@bartin.edu.tr

Hüseyin Duran orcid.org/0000-0002-9042-3554

Derviş Özkan orcid.org/0000-0002-4978-290X

Abdullah Cahit Karaoğlanlı orcid.org/0000-0002-1750-7989

1. Giriş

Yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirilmiş, yüksek alaşım malzeme grubu olan süperalaşım, 1900'lü yılların başlarında gaz türbinlerin kullanımında, 1950-70 yılları arasında ise gelişimleri hız kazanarak ve östenitik paslanmaz çeliklerin bir türevi olarak ön plana çıkmaktadır. 1980'li yıllarda ise bazı elementlerin süperalaşım malzemelerine eklenmesiyle yoğun ilgi artmış ve bu malzemelere spesifik mekanik özellikler kazandırılmıştır (Yu vd. 2018, Sklenička vd. 2018). Darbe ve dayanıklılık kaybı olmadan 540 °C ile 1000 °C arasında yüksek çalışma sıcaklıklarında çalışabilmektedir. Bu kapasiteleri sayesinde uçak motoru üretiminde kullanılmak üzere en çok tercih edilen malzeme sınıfındadır. Bu ve benzeri alanlarda mukavemetlerini korumak ve yüksek sıcaklık koşullarında mikro yapılarını dengeli tutmaktadırlar. Son on yılda ise, ergitme teknolojisindeki gelişmeleri, alaşımlamanın etkileri, termo-mekanik çalışmalar sayesinde yeni alaşımların ortaya çıkmasına olanak sağlamışlardır. Yüksek sıcaklıklarda sürünme dayanımı gibi performansları artırılmasıyla günümüzde Ni ve/veya Ti esaslı süperalaşım geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir (Bose 2007, Saman 2011). Mekanik ve korozyon direncini artırmak için Al, Ti, Nb, Co, Cu ve W elementlerle ilave alaşımlandırılırlar. Demir (Fe) ise, 1–20% aralığında Inconel alaşımları içerisinde yer almaktadır (Subaşı vd. 2016). Süperalaşım, genellikle gaz türbinlerinde olduğu gibi çalışma sıcaklığının yüksek olduğu ortamlarda ısı dayanımı yüksek olan Nikel esaslı süperalaşım kullanılmaktadır. Nikel esaslı süperalaşımın 1100 °C gibi yüksek sıcaklıklarda mukavemetinin yüksek olması bu malzeme grubunu bu ortamlarda tercih edilir kılmıştır (Donachie ve Donachie 2002, Bose 2007). Bu alaşımlar son derece iyi oksidasyon ve korozyon direnciyle, yüksek sıcaklık şartlarında sürünme ve kırılma direnci sağladığından uçak motoru parçalarında sıklıkla tercih edilir (Bochenek ve Basista 2015). Nikel esaslı süperalaşım, süperalaşım içinde en kompleksi, en çok kullanılan ve birçok metalürji uzmanına göre en ilgi çekici olanıdır. Jet motorlarının ağırlığının yarısını bu alaşım grubundandır (Kaplanski vd. 2020, Yang vd. 2015). Süperalaşım bir malzeme yaklaşık ergime sıcaklığının %70'ine kadar çıkılan sıcaklıklarda kullanılabilir. Süperalaşım çok kristalli, yönlendirerek katılaştırılmış veya tek kristal olarak üretilmektedir (Schulz vd. 2001). Günümüz endüstrisinde özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan ve süperalaşımlardan imal edilmiş türbin bıçakları ve kanatçıklarının performanslarını ve servis ömürlerini

daha da artırmak amacıyla aynı zamanda kaplamalar da uygulanmaktadır. Bunun yanında aynı amaç doğrultusunda katmanlı kaplamalar da günümüzde popülerliğini sürdürebilmektedir (Monceau vd. 2010, Dwivedi vd. 2013). Inconel 718 süperalaşım malzemesi, özellikle havacılık ve uzay endüstrisindeki özel uygulamalarda üstün özellikleri sebebiyle kullanılır. Kimyasal malzemeler ile temas halinde olan parçalarda, denizcilik araçlarında ve parçalarında, roket motor parçalarında, çok özel amaçlar için üretilen depo tanklarında, nükleer reaktör parçalarında, bağlantı elemanlarında, vanalarda ve türbin pervane bıçakları gibi kullanımları yaygındır (Kuo vd. 2009, Akca ve Gürsel 2015). En önemli yüzey sertleştirme uygulamalarından olan termo-kimyasal borlama işlemi; metallerin mekanik ve tribolojik özelliklerini geliştirmek için uygulanan difüzyon esaslı bir yüzey sertleştirme işlemi ile oluşan bor tabakasının sert, sürtünme katsayısının ise düşük olması, asit ve bazlardan kaynaklı korozyon ortamlara ve yüksek sıcaklıklardaki korozyona iyi direnç göstermesi sayesinde diğer yüzey sertleştirme işlemlerine göre daha üstündür. Bu proses sayesinde malzeme yüzeyinde oluşturulan borür tabakaları ile yüzey sertliği önemli derecede artırabilirken tribolojik özellikler ve korozyon direnci de iyileştirmektedir. Termo-kimyasal ve elektro-kimyasal olarak uygulanabilen difüzyon esaslı bir proses olan borlama diğer proseslere göre daha iyi sertlik ve aşınma sağlamaktadır (Makuch ve Kulka 2016, Makuch 2020). Farklı borlama işlemleri uygulansa da genelde kutu, sıvı ve gaz ortamı şekillerinde uygulanabilir. Bu işlemler arasında kutu borlama tekniği en kullanışlı olup kutu sementasyona benzemektedir (Günen ve Kanca 2017). Borlama işlemi, malzeme yüzeyine nikel borürlerin oluşmasına bağlı olarak mekanik ve kimyasal özellikleri (yüksek sertlik, aşınma ve korozyon direnci gibi) geliştirmek için nikel bazlı süperalaşım üzerinde gerçekleştirilen bir uygulamadır (Günen 2020, Deng vd. 2015, Cataldo vd. 2000). Bu işlem sayesinde tribolojik dayanımı bakımından başka termo-kimyasal işlemlere göre çok daha iyi aşınma dayanımı sağlamaktadır (Campos-Silva vd. 2018). Borlanmış Ni bazlı süperalaşım, gaz türbini motorunun itme vektörü nozul taşıyan bileşenleri gibi uygulamalarda, aşınmalarını, safralarını ve korozyonlarını azaltmasıyla fayda sağlamaktadır (Joshi vd. 2017).

Inconel 718 süperalaşımı, içerisinde önemli miktarda Ni, Fe ve Nb içeren demir nikel bazlı ve içerdiği yüksek niyobyum sayesinde çökelti sertleşmesi ile yüksek mukavemet değerlerine sahip olduğundan dayanımını 650 °C'ye kadar korumaktadır. Uçak motorları, nükleer tesisler gibi yüksek

sıcaklık dayanımı ve mukavemeti istenen uygulamalarda aranan malzemedir. Yüzey kaplama işlemleri, malzemeyi hem görünüş hem de fiziksel ve kimyasal bakımdan daha dayanıklı hale getirmek için bir metalin yüzeyini metal, ametal veya organik madde ile kaplama işlemleridir. Borlama ısı işlemi ise, bor atomlarının metal yüzeyine difüzyonu ile malzeme yüzeyini güçlendiren bir termo-kimyasal yüzey sertleştirme uygulamasıdır. Borlama, termo-kimyasal bir yüzey prosesi olarak malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kapsamda ilgili alanda yürütülen ar-ge çalışmaları bilimsel ve endüstriyel kurum/kuruluşlar tarafından güncelliğini korumaktadır. Teknolojik araştırmaların büyük bir kısmı endüstriyel uygulama alanlarında kullanım alanı bulan malzeme ve yüzey kaplama teknolojilerinin kalitesini yükseltmeye, daha ekonomik çözümler getirmeye yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada, yüksek sıcaklık koşulları altında havacılık endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahip Inconel 718 nikel bazlı süperalaşım altlık malzeme üzerine borlama prosesi uygulanmış ve mikroyapısal, mekaniksel ve tribolojik davranışlar farklı proses koşulları altında incelenerek, ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

2. Gereç ve Yöntemler

2.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, 25.4 mm çapındaki, 5 mm kalınlığında disk şeklinde Ni esaslı bir süperalaşım olan Inconel 718 altlık numuneler kullanılmıştır. Kimyasal bileşimi Çizelge 1'de verilen (Makuch ve Kulka 2014), ısı işlemlere maruz kalmış Inconel 718 süperalaşımı, kutu borlama yöntemi ile

borlanmış, ticari Ekabor-II tozu kullanılarak karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

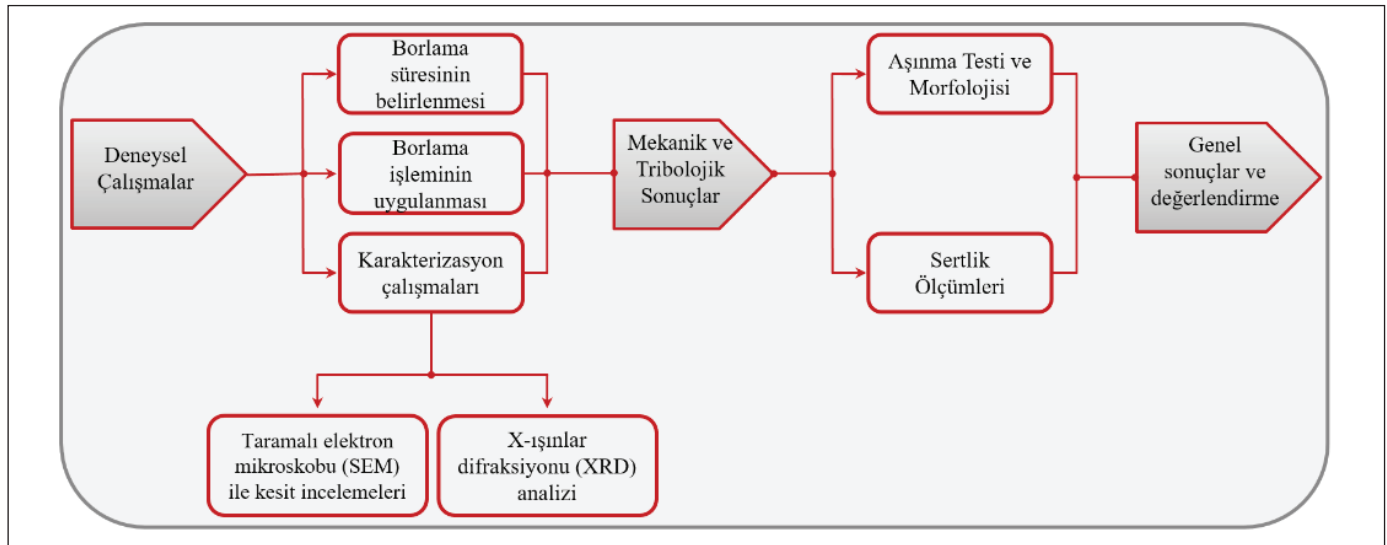
Çizelge 1. Inconel 718 süperalaşıma ait kimyasal bileşim, % ağırlık.

Ni	Fe	Cr	Nb	Mo	Ti	Al	C
52.5	18.5	19.0	5.1	3.0	0.9	0.5	0.08

Numuneler Discotom 100 kesme cihazında daha küçük parçalar haline getirilmiştir. Kesme cihazından çıkan parçalara otomatik zımparalama işlemine tabi tutabilmek için CitoPress 10 cihazı yardımıyla bakalite alma işlemi yapılmıştır. Bakalite alınan numunelerin Tegramin 30 zımparalama/parlatma cihazı ile sırasıyla 240-400-600-800-1000-1200-2000-3000 kaba/ince zımpara aşamalarından geçirilerek parlatma için yüzeyleri temizlenmiştir. Deneysel için kullanılan numunelerin önce 6 µm sonrasında 3 µm elmas süspansiyon kullanılarak yüzey parlatma işlemi sonlandırılmıştır. Borlanacak parçalar, ısıya dayanıklı kutu içine borlama tozuyla (ticari Ekabor-II) kaplanmak üzere 10-20 mm kadar gömülmüştür. Bu işlemden sonra üst kısmına dolgu malzemesi (SiC, ekrit, alüminyum tozu vs.) doldurularak hava geçişi engellenecek şekilde kapak kapatılmıştır.

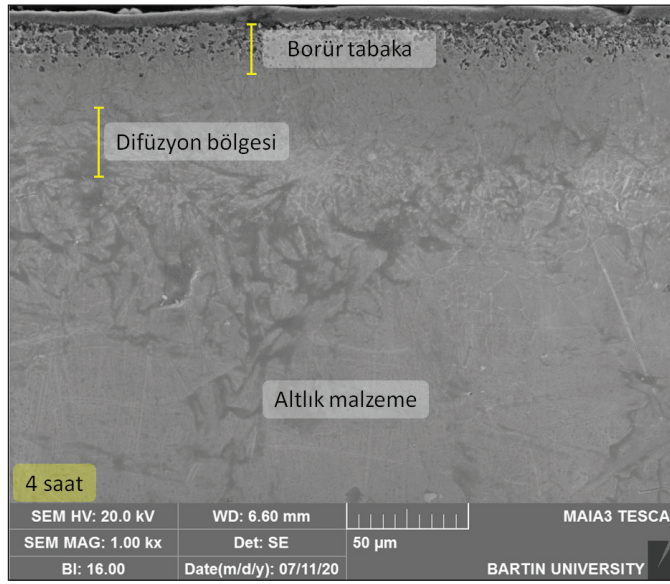
2.2. Malzemelerin Karakterizasyon Analizleri

Çalışmada izlenen yöntemin akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. Kaplama tabakasının net görünümü için numuneler zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuş ve ardından 70 ml H₃PO₄ ve 30 ml su çözeltisinde 5V ile 60 s tutulması ile dağlanmış.



Şekil 1. Çalışmada izlenen yöntemim akış şeması.

Yüzey temizleme işlemleri görmüş numuneler Q10A+Qness mikro sertlik cihazı kullanılarak Vickers sertlik testi yapılmıştır. Kullanılan deney setinde batıcı uç tepe açısı 136° olan elmas kare piramit tercih edilmiştir. Yüklü numune üzerinde durma zamanı 10 saniyedir. Test aşamasında bor tabakasından başlanıp matris malzemeye kadar sertlik değerleri ölçülmüştür. Çalışma sırasında uygulanan yük



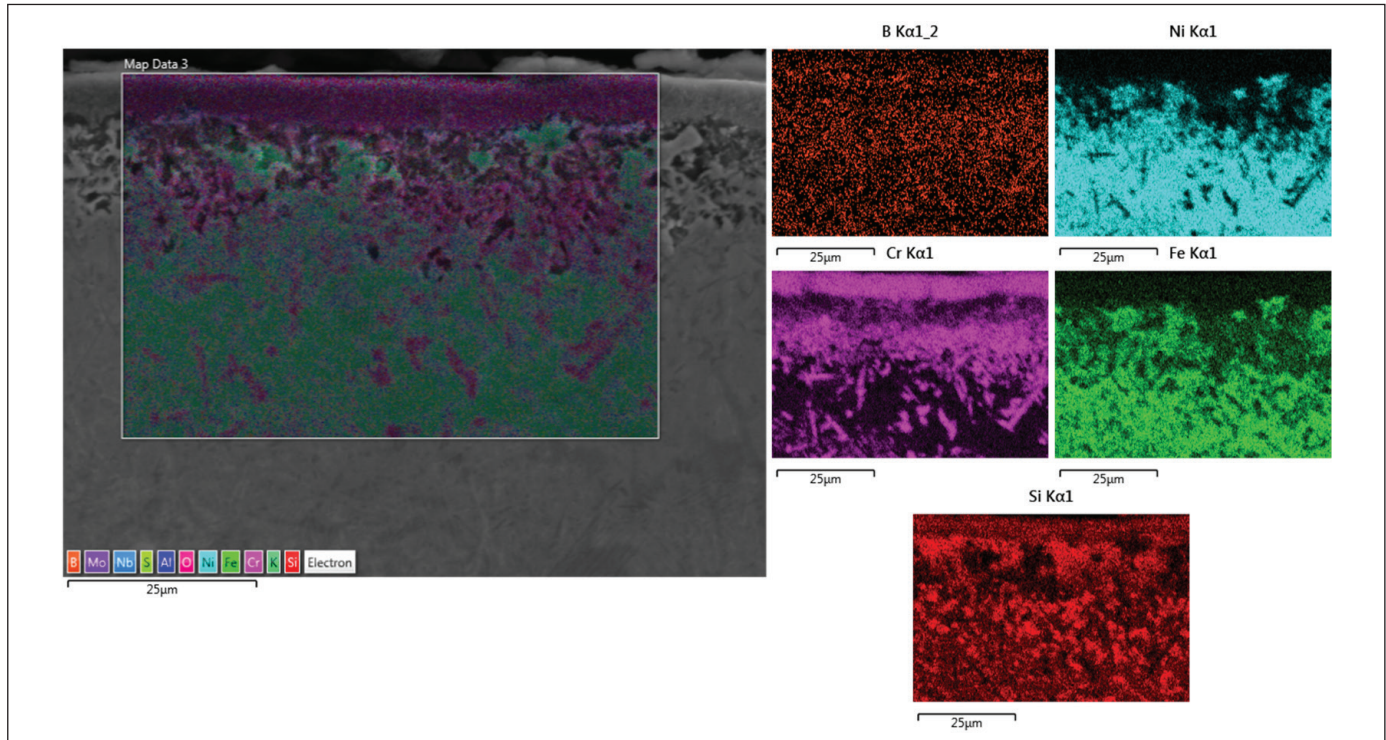
Şekil 2. 950 °C'de 4 saat borlama sonrası SEM görüntüsü.

$HV_{0.01}$ seçilmiştir. Bor kaplanmış numune içerisindeki fazların tayini için TESCAN MAIA3-XMU model taramalı elektron mikroskop (SEM) cihazı kullanılmıştır. Aşınma testi UTS Tribometer T10/20 cihazı kullanılarak aşınma testi 3N, 5N, 10N ve 15N yükler altında uygulanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışmalar

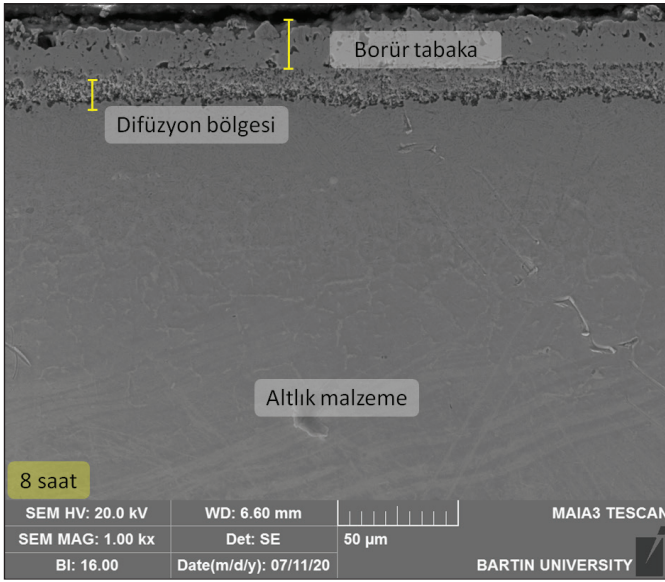
950 °C sıcaklığında 4 saat borlanması sonrasında elde edilen SEM ve haritalama EDX mikro yapı analizleri Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Numunelerden elde edilen en düz ve temiz olduğu görüntüler 4 saatlik borlama sonucu alınan görüntülerde elde edilmiştir. 8 ve 16 saatlik numunelerden alınan görüntülerde düzlük ve temizlik bozulmaya başlamıştır. Bu durum kaplama tabakasının yüzeyinde oluşan silisid tabakasının borun iç kısımlarına doğru difüze olmasını engellemesi ve soğuma sırasında borür fazları ile silisid içerikli fazların farklı termal genleşme katsayılarına sahip olması nedeniyle çatlak, kırılma, yapısal boşluk oluşumları vb. olumsuzlukları ortaya çıkarabilmektedir (Dinc vd. 2013). Dolayısıyla uzun işlem sürelerine bağlı difüzyon süresinin artması ile kaplanan malzeme yapısında olumsuz etkilenme gerçekleşmektedir.

Alınan SEM analiz sonucunda tabakadan matrise doğru gelindikçe bor tabakasının sürekli azaldığı bor tabakasının



Şekil 3. 950 °C'de 4 saat borlama sonrası SEM elementel haritalama mikroyapısı.

en az seviyeye indiği noktada Ni tabakasının arttığı ve Fe, Cr ve B elementlerinden oluştuğu anlaşılmaktadır (Şekil 3). Bor dağılımının oluşan tabaka etrafında yoğun bir şekilde arttığı da gözlenmektedir. Kutu borlama yöntemiyle bor kaplanmış numune yüzeyi üzerinde 950 °C sıcaklığında 8 saat borlanması sonrasında elde edilen SEM ve haritalama EDX mikroyapı analizleri Şekil 4 ve Şekil 5’de verilmektedir.

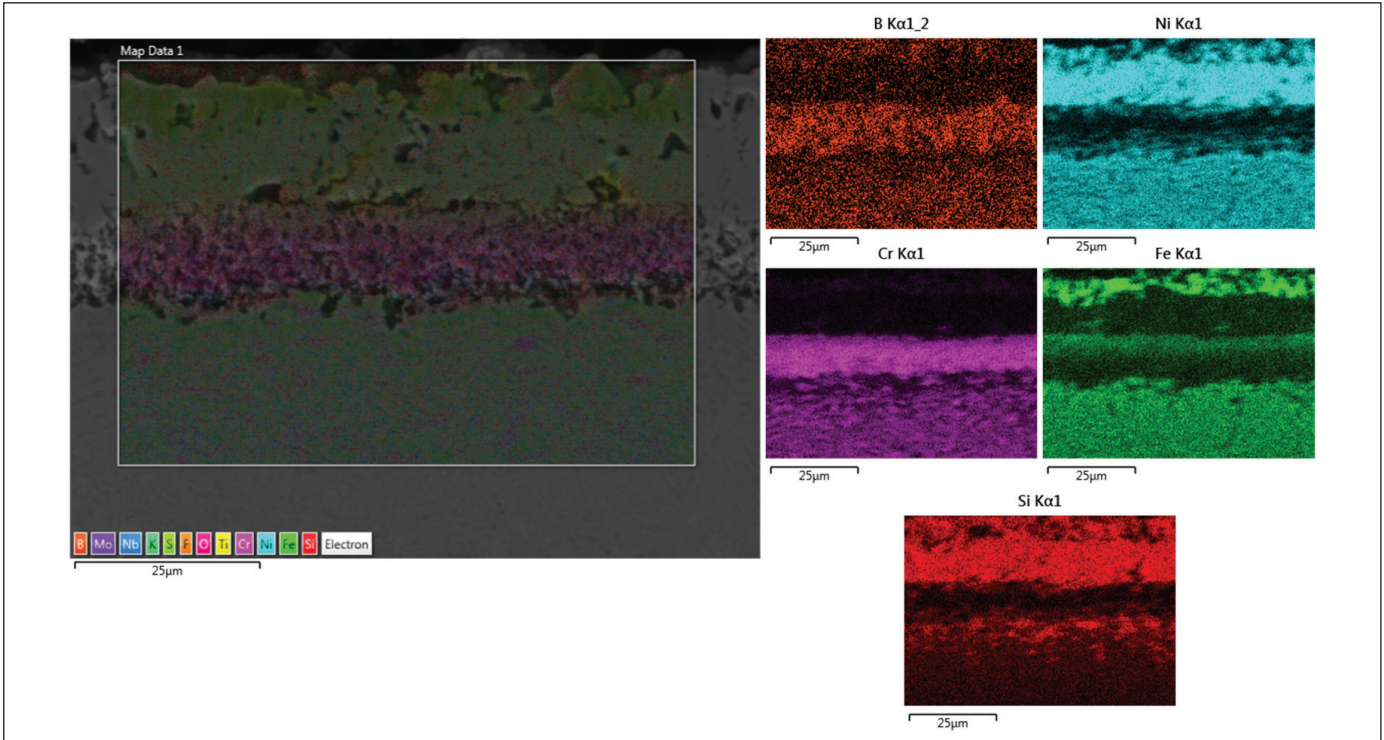


Şekil 4. 950 °C’de 8 saat borlama sonrası SEM görüntüsü.

Oluşan tabakanın 4 saat borlanmış numunedeki tabakadan daha geniş bir tabaka olduğu tespit edilmiştir. Tabakadan matrise doğru gelindikçe bor miktarının azaldığı Ni miktarının arttığı görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda bor dağılımının oluşan tabaka etrafında yoğun olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7’de verilen görüntülerde 950 °C’de 16 saat borlama sonrası alınan SEM ve haritalama EDX analizleri verilmiştir. Borun, borlama süresinin artması ile beraber difüze olmasında artış görülmektedir. Bor tabakasının çok kalın olduğu alınan SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Verilen analiz sonucunda tabakadan matrise doğru gelindikçe bor miktarının azaldığı Ni miktarının arttığı ve Fe-Cr alaşımının ana borür tabaka ile altlık arasında oluştuğu açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 7). SEM sonuçları literatür ile karşılaştırılması sonrasında literatürü destekler şekilde üç ana bölgeden oluştuğu bor tabakası, silisid tabakası ve ana malzeme olduğu elde edilmiştir (Günen 2020, Dinc vd. 2013).

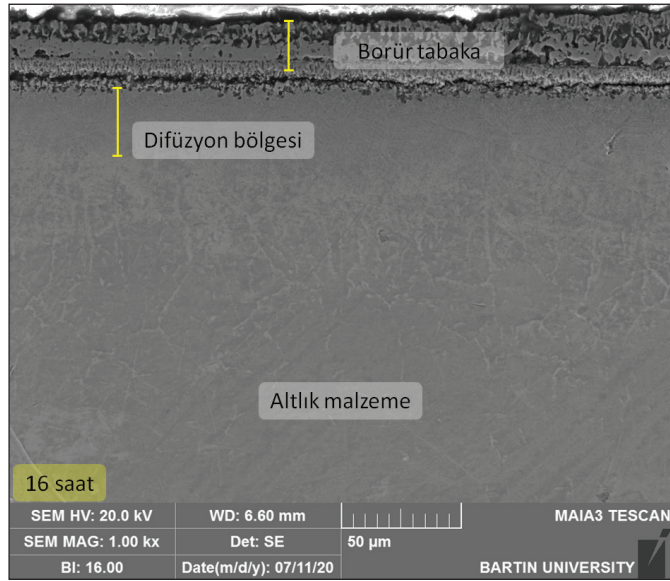
Borlanan numunelerin değişik faz işlemlerini tayin edilebilmesi amacıyla XRD analizleri yapılmış ve XRD analizi sonuçları Şekil 8’de verilmiştir.

Borlanmış numunelere yapılan XRD analizi sonucu tüm numunelerde görülen silisid tabakasının Ni₂Si, Ni₄B₃, FeB fazla oluştuğu ve literatür ile uyumlu olduğu tespit



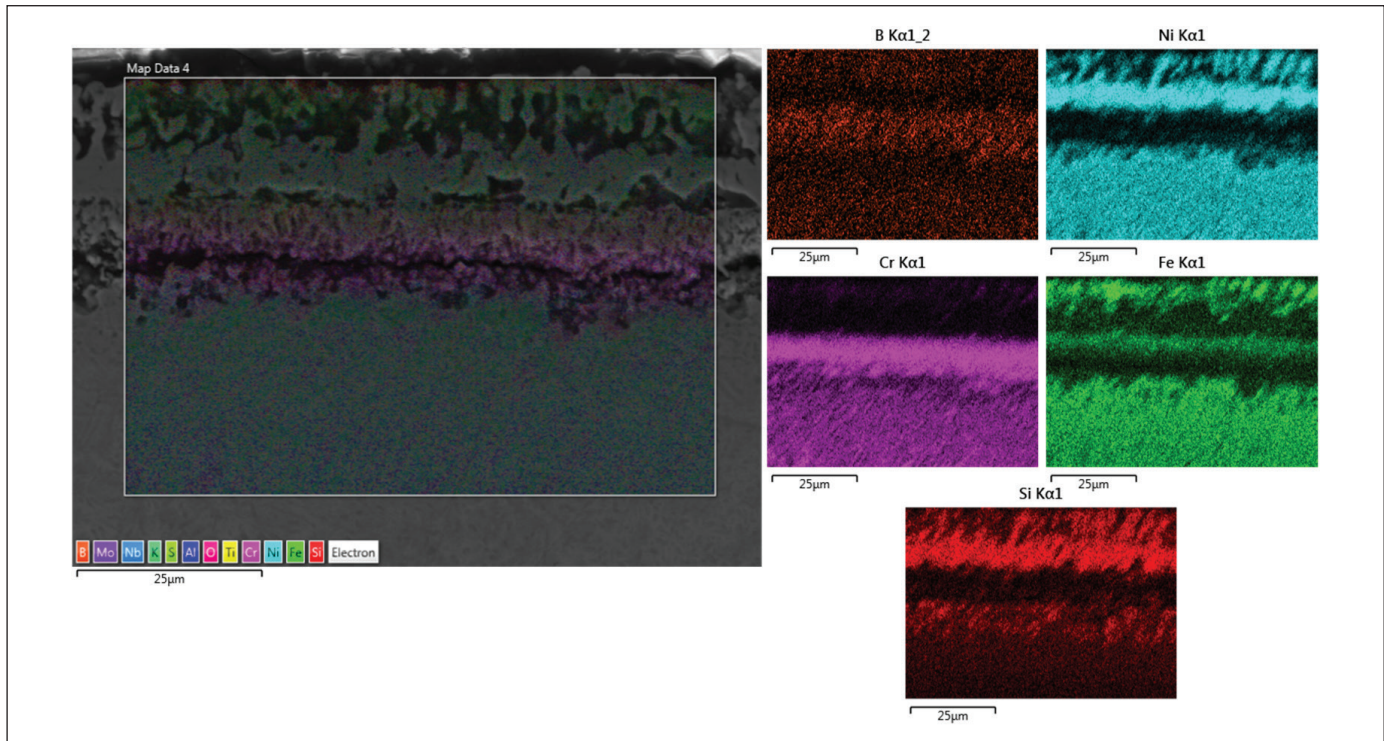
Şekil 5. 950 °C’de 8 saat borlama sonrası SEM elementel haritalama mikroyapısı.

edilmiştir (Dinc vd. 2013). Malzeme yüzeyindeki fazların zaman ile birbiri arasında farklılık gösterdiği 950 °C'de 16 saat borlanmış numunede ortaya çıkmıştır. Malzemenin süre ve sıcaklık faktörlerinin birleşmesi sonucunda yüzeyde oluşan silisid tabakası kalınlığı artmıştır. Dinc ve arkadaşları Ekabor tozu ile borlanmış Inconel 718 süperalaşımının aşınma çalışmalarında artan borlama süreleri ile birlikte

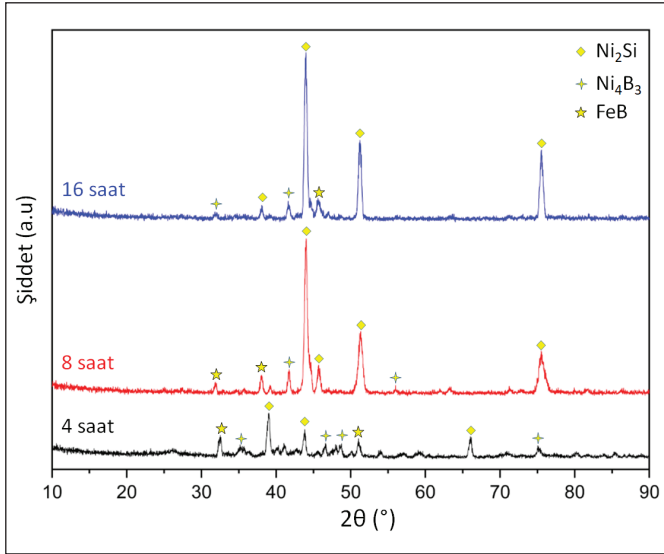


Şekil 6. 950 °C'de 16 saat borlama sonrası SEM görüntüsü.

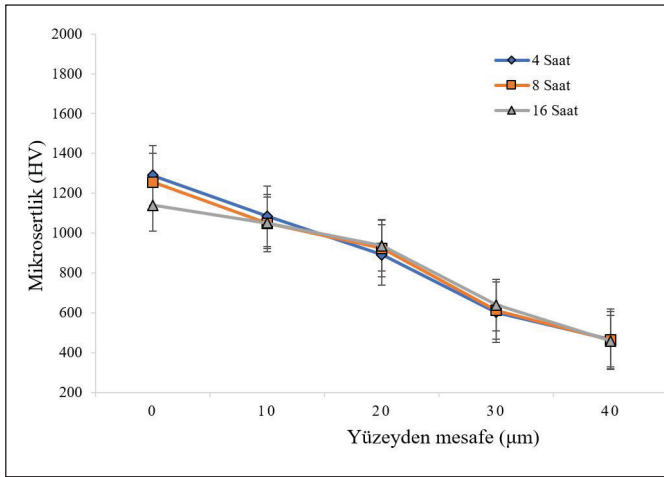
silisid tabakası kalınlıklarının arttığını bildirmişlerdir (Dinc vd. 2013). X-ışınlarının belirli bir derinliğe kadar nüfuz etmesinin bir sonucudur. 8 saatlik numunede 40-50° aralığında yüksek bir Ni₂Si fazına rastlanmıştır. 4 saatlik borlanmış numunede Ni₄B₃ fazının 30-50°leri aralığında bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Bir farklı faz olan FeB fazının 55-75°leri arasında bir dağılım göstermektedir. FeB fazı 4 saatten 16 saatlik numuneye geçince yerini Ni₂Si fazına bıraktığı tespit edilmiştir. Bu durum SEM analizlerinde görülen silisid tabakasının kalınlığının oluşumunu destekler niteliktedir. Borlama tüm numunelerde silisid fazının Ni₂Si'den, borür fazının Ni₄B₃'ten meydana geldiği görülmektedir. Sıcaklığa bağlı olarak demir borür fazının FeB'den oluştuğu saptanmıştır. Oluşan tabaka kalınlıkları piklerin şiddetine etki etmektedir. Tespit edilen bu sonuç Mu ve arkadaşlarının yapmış oldukları saf nikelin borlama çalışmalarında da silisid tabakasının yüzeylerde oluştuğunu bildirmişlerdir (Mu vd. 2009). Bor bakımından daha zengin olan FeB fazı Fe₂B fazından daha kırılğan yapıdadır. Difüzyon tabakasında FeB ve Fe₂B fazlarının birlikte oluşmasının dezavantajı FeB ile Fe₂B fazlarının termal genleşme katsayıları arasındaki fark ve FeB fazının gevrekliğinden kaynaklanmaktadır. Borlama prosesi sürecinde oluşan gerilme ve artık gerilmeler sonucunda FeB ve Fe₂B fazlarının temas ettikleri yüzeylerde yüzeye paralel



Şekil 7. 950 °C'de 16 saat borlama sonrası SEM elementel haritalama mikroyapısı.



Şekil 8. Inconel 718 süperalaşımının 950 °C'de 4, 8 ve 16 saat borlanması sonucu elde edilen XRD paternleri.



Şekil 9. Inconel 718 süperalaşımının 950 °C'de 4, 8 ve 16 saat borlanması sonucu kesitte elde edilen sertlik/mesafe grafiği.

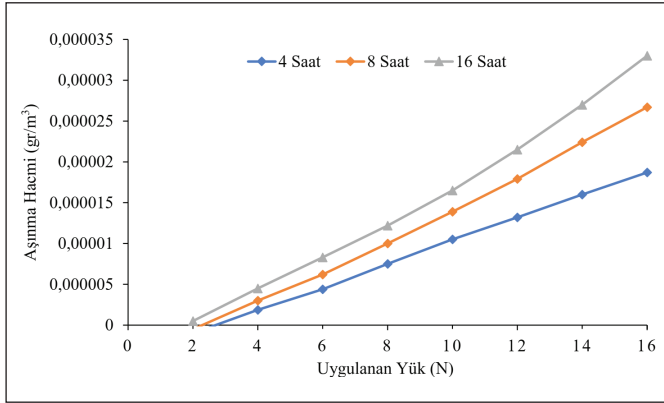
çatlaklar, tabaka ayrılmaları, ısıl değişim ve mekanik etkilere karşı dayanım daha düşük olabilmektedir (Sinha vd. 1991, Caruta 2005, Topuz 2016).

Inconel 718 süperalaşımının 950°C'de 4, 8 ve 16 saat borlanması sonucu kesit yüzeyinden matrise doğru elde edilen sertlik/mesafe grafiği Şekil 9'da verilmiştir.

Uygulanan sertlik ölçümlerinden sonra numunelerden alınan şekiller incelendiğinde, yüzeyden matrise doğru sertliğin azaldığı anlaşılmıştır. 950°C'de Inconel 718 süperalaşımının kutu borlanması sonucu elde edilen başka bir çalışmada ise benzer sonuç elde edilmiştir (Joshi vd. 2017). Saf nikelin borlandığı çalışmada sertlik, daha düşük

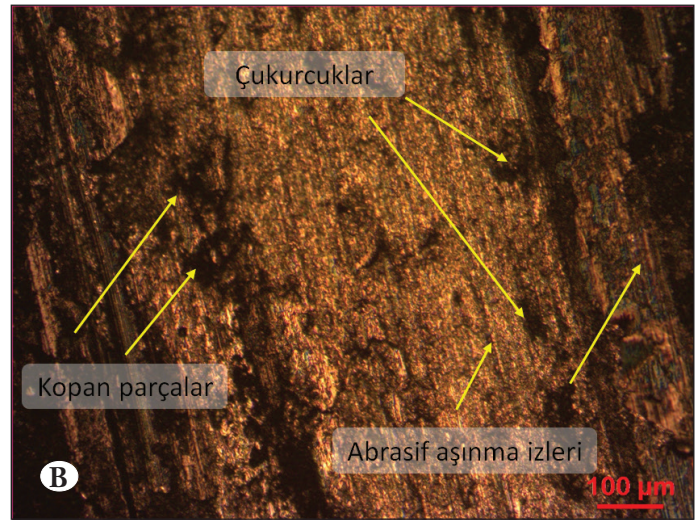
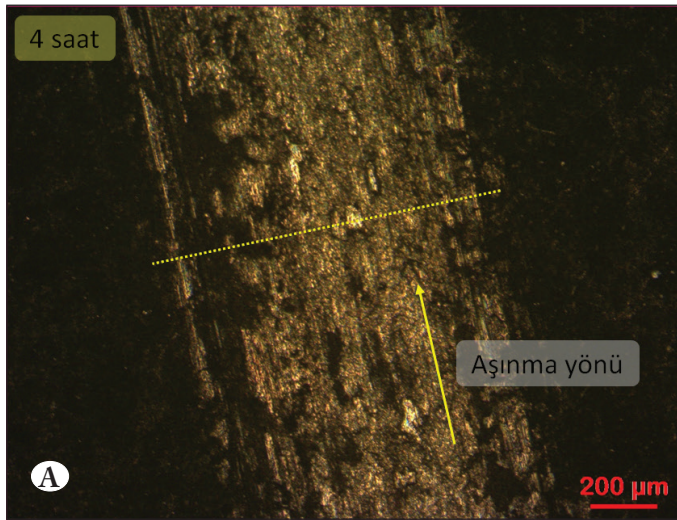
değerlerde saptanmıştır (Mu vd. 2009). Inconel 600' ve Inconel 718 farklı sıcaklık ve sürelerde borlanması sonucu benzer fazlar elde edilmiş ve aynı şekilde sertlik-mesafe profili, bu çalışmadaki profillere benzemektedir (Dinc vd. 2013, Sista vd. 2013). Sertlik değerlerindeki azalmanın kimyasal bileşimdeki farklılığa bağlı değişim gösterdiği, üst yüzeyde tamamen borür kaplama bir yapı ortaya çıkmışken, ana malzemeye doğru gidildikçe ana metal kimyasal yapıdaki alaşım elementlerine temas ile sertlik değerlerinde tabaka yapısına bağlı düşüş görülmektedir. Ana malzemenin merkezine doğru ilerledikçe sertlik değerlerinin değişimlerini gösteren grafik Şekil 9'da görülmektedir. Ayrıca, sertlik değerlerine krom (Cr) elementinin de etkili olduğu da düşünülebilir (Şekil 3, Şekil 5 ve Şekil 7). Bor tabakasından difüzyon bölgesine geçerken sertlik düşüşü çok belirginken difüzyon bölgesinden sonra o kadar fazla bir sertlik düşüşü ve matrisin kendi içerisinde de çok fazla sertlik değişim değerleri de görülmemektedir.

Aşınma değerlerinde 4 saatlik borlama işlemi sonrasında kuru kayma aşınma testlerine tabi tutulan numunede uygulanan yük ile beraber aşınma hacminin artığı tespit edilmiştir (Şekil 10). Artan yük ile birlikte ball on disk aşınma cihazındaki aşındırıcı olarak kullanılan bilyanın üzerine gelen kuvvetin artması bu bilyanın daha fazla aşığıdaki yüke batmasına sebebiyet verecektir. Bilyanın karşı yüzeye daha fazla batması önünde birikecek malzeme oranına etki etmektedir. Malzemenin aşınmasına da etkili olan batma ve kesme kuvvetleri daha fazla artacağından arttan yük ile birlikte numunedeki yük ile birlikte hacim kaybı artacaktır. Bu artışın aşındırıcı bilye (Al_2O_3) ile aşındırılan yüzey alanı arasında sıkışan partiküle uygulanan yükün artmasıyla aşındırılan malzemenin yüzeyine daha fazla temas etmesine ve batmasına yol açacaktır. Borlamanın etkisiyle numune üzerindeki sertlik ne kadar yüksek olursa kendisine batmak isteyen bilyeye göstereceği direnç fazla olacağından numune yüzeyindeki sertlik artışı aşınma direncini arttıracaktır (Baştürk ve Erten 2006, Topuz 2016). 8 saatlik borlama işleminden sonra elde edilen hacim kaybı bir önceki yani 4 saatlik borlama süresine sahip numune ile bu numune karşılaştırıldığında 4 saat borlama işleminin daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. Çizelge 2'de elde edilen değerler rakamsal olarak da bu sonuçları açıklamaktadır. 16 saatlik borlamanın aşınma hızının bu kadar fazla olmasının sebebi ise difüzyonun çok fazla olmasından kaynaklı ve havada soğumaya bırakılan numunelerin kaplama tabakası ve matrisin birbirinden farklı soğuma hızlarına sahip olmasından dolayı iç yapıda meydana gelen termal genleşme farklılıklarından kaynaklı gerilme, çatlak vb. durumlar

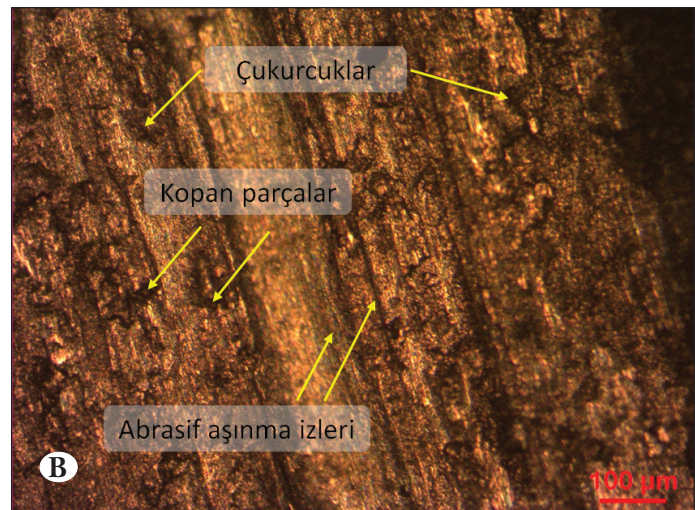
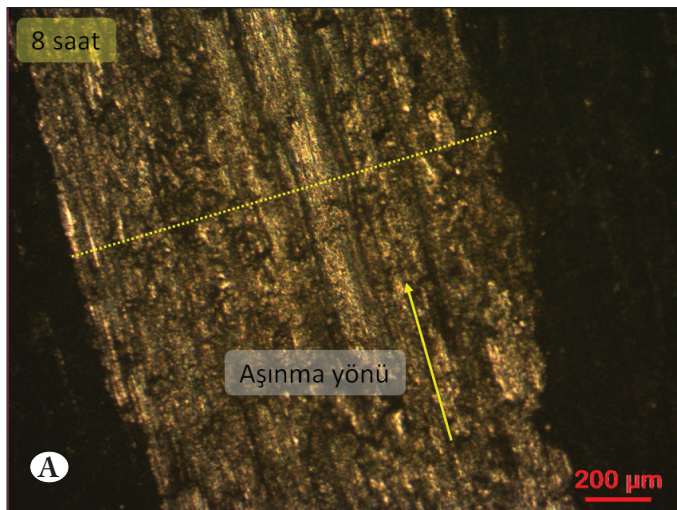


Şekil 10. 950 °C'de 4, 8 ve 16 saat borlanan numunelerin aşınma testi sonucu aşınma hacmi/uygulanan yük grafiği.

ve/veya yüzeyde meydana gelen pürüzlülük etkisine dayandırılabilir. Yüzey pürüzlülüğünün artması da borlama süresinin artması oluşumu gözlemlenen tabaka kalınlığını arttırması ile birlikte yüzey ve difüzyon bölgesi boşlukları da arttırarak tabakanın özelliklerinde azalmaya yol açar (Medvedovski vd. 2014). Farklı sıcaklık ve farklı sürelerde borlama işlemi uygulanan diğer bir çalışmada ise, yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla bor tabaka kalınlıklarının artması rapor edilmiştir (Yıldız ve Güneş 2020). Alınan optik ve SEM görüntüleri incelendiğinde, yüzeydeki çukurların oluşumu net bir şekilde görülmektedir (Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13). Numuneler üzerine uygulanan aşınma testi sonrasında aşınma hacmi sayısal verileri kullanılarak Şekil 10'daki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 11. 950 °C'de 4 saat boyunca borlama işlemine tabi tutulan, A) 50X, B) 100X optik mikroskop görünümleri.



Şekil 12. 950 °C'de 8 saat boyunca borlama işlemine tabi tutulan, A) 50X, B) 100X optik mikroskop görünümleri.

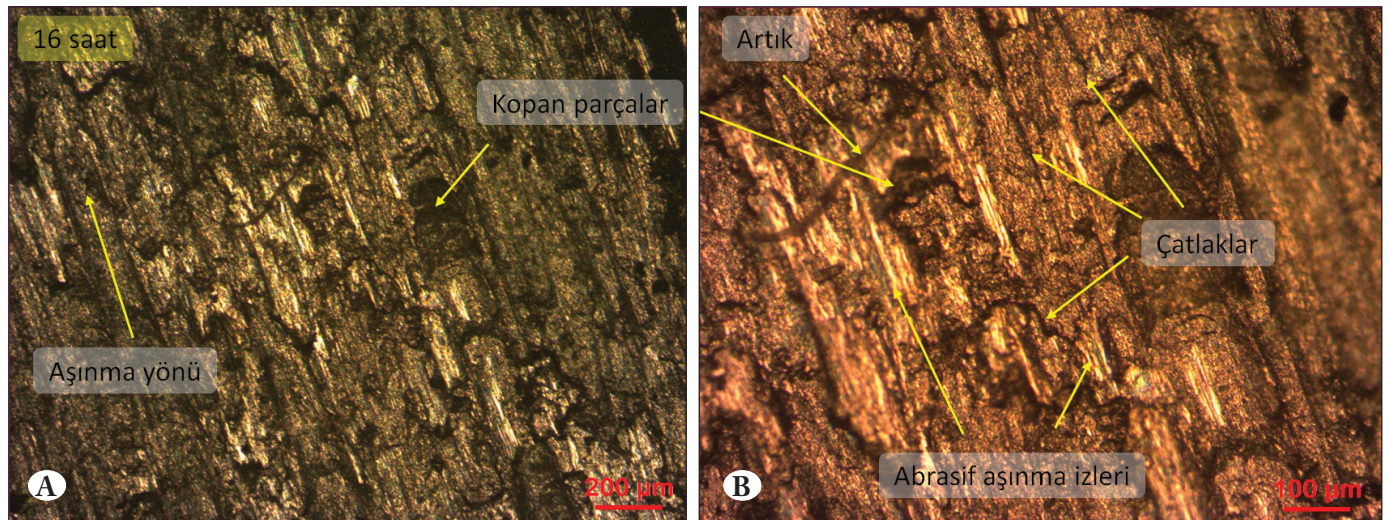
Farklı malzemelere uygulanan ve gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalarda çeliğe 900 °C'de 4 saatte uygulanan borlama işleminde elde edilen veriler, güçlü bir yüzey sertliğinin, düşük bir sürtünme katsayısı ile birleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bundan dolayı elde edilen bulgular iyi bir aşınma dayanımını beyan etmektedir (Barkat vd. 2017). Şekil 10'daki grafikten elde edilen sonuçlar, sertlik sonuçları ile bağdaşmaktadır. Çalışmada, 4 saatlik numunede yükün artması ile beraber aşınma hacminin arttığı fakat en yüksek yükte dahi 8 ve 16 saatlik numunelerden daha iyi bir aşınma direnci olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 11'de 4 saat boyunca borlama işlemine tabi tutulmuş malzemeye uygulanan aşınma testi sonrasında abrasif (abrasive) aşınma mekanizmaları tespit edilmiştir. Yüzeydeki

kalıntılar ve çizikler genellikle malzeme yüzeyi ile temas halinde olan aşındırıcı sert bilye tarafından oluşmuştur (Yılmaz vd. 2013). Şekil 11'a da aşınma genişliğinin çok geniş olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 12'de de 4 saatlik borlamaya tabii tutulan malzeme gibi abrasif aşınma mekanizması tespit edilmiştir. Aşınma genişliğinin 4 saatlik malzemeye göre bir miktar arttığı da anlaşılmaktadır. Aşınma genişliğinin artmasıyla aşınma hacmi de artmıştır. Şekil 13'de ise benzer durumlar vuku bulmuştur. Artan yükte beraber çiziklerin derinlikleri ve kalınlıkları artmıştır. 950 °C'de 3 farklı zaman diliminde uygulanan borlama işlemi sonrasında malzeme yüzeylerinde incelenmek üzere uygulanan aşınma değerleri ve sertlik sonuçları tüm verileri Çizelge 2'de verilmiştir. Verilerde yüzey sertliği ve aşınma direnci en iyi olan 4 saatlik numunede bulunmuştur.

Çizelge 2. Farklı borlama sürelerine göre aşınma ve sertlik sonuçları.

Borlama Süresi	Aşınma Yüğü (N)	Aşınma Hızı (gr/m)	Ağırlık Kaybı (gr)	Tabaka Sertliği (HV _{0.01})
4 saat	3	0.000001	0.00001	1290 ± 22
	5	0.000003	0.0003	
	10	0.000011	0.0011	
	16	0.000018	0.0018	
8 saat	3	0.0000015	0.00015	1257 ± 15
	5	0.000005	0.0005	
	10	0.000015	0.0015	
	16	0.000025	0.0025	
16 saat	3	0.000003	0.0003	1140 ± 10
	5	0.000007	0.0007	
	10	0.000018	0.0018	
	16	0.00003	0.003	



Şekil 13. 950 °C'de 16 saat boyunca borlama işlemine tabi tutulan, A) 50X, B) 100X optik mikroskop görüntüleri.

Borlama işlemi uygulanan malzemelerde oluşan yüzey tabaka özelliklerine ait gerçekleştirilen çalışmalar daha çok sertlik, korozyon ve aşınma gibi mekanizmaları incelemektedir. Çalışmalarda genel olarak sertlik değişimleri ile aşınma özelliklerinin doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür (Günen 2020). Borlama yönteminin en önemli etkisi sertlik üzerine olup, altlık malzeme özelliğine ve malzeme yüzeyinde oluşacak olan Nikel borür, krom borür ve silisid bazlı tabakalarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Krom borür ve nikel borür fazların yüksek aşınma dirençleri sağladığı belirtilirken (Gunes ve Kayali 2014, Aytekin ve Akçin 2013) silisid içerikli fazların ise aşınma direnci üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Deng vd. 2015). Borlama prosesi uygun malzeme ve uygun koşulların ayarlanması halinde sinterlenmiş karbürlerle kıyaslanabilecek düzeyde iyi aşınma direnci göstermektedir. Borlama prosesinde farklı yüklerde uygulanan aşınma testlerinde yükün artmasıyla aşınma kaybı da aynı düzeyde artmaktadır. Artan borlama süresine bağlı olarak aşınma kaybı da azalmaktadır. Güneş ve arkadaşları en az aşınma kaybını 950 °C'de 8 saatlik zaman diliminde gerçekleştirilen borlanmış numunede olduğunu bildirmişlerdir. Bu durumun sebebini borlama süresine bağlı olarak malzemenin yüzeyinde oluşan, malzemenin sertliğini ve aşınma direncini artıran FeB fazının oluşmasına bağlamışlardır (Güneş vd. 2011). Bu çalışmada karbürleme ve borlama işlemine tabi tutulmuş numunelerin tribolojik özellikleri karşılaştırılmış ve borlamaya tabi tutulan malzemelerin karbürlemeye göre özellikle geçiş bölgesindeki yüklemelerde abrasif aşınma dayanımı açısından daha iyi sonuçlar gözlemlenmiş ve bu özelliğini yüksek sıcaklıklarda dahi koruduğu saptanmıştır. Ağırlık kayıpları ise aşınma testinde olduğu gibi sert olan tabakanın daha az aşınmaya uğradığı ve aşınma kaybının daha az etkili olduğu belirlenmiştir.

4. Sonuçlar

Inconel 718 süperalaşım malzemeye ait 950 °C sabit sıcaklık ile 4 saat, 8 saat ve 16 saatlik zaman süreçlerinde Ekabor-II tozları kullanılarak gerçekleştirilen borlama işlemi neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Bor tabakasının en üniform yapısının 4 saatlik borlama süreci sonucunda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Inconel 718 süperalaşım altlık malzemede 8 saat ve 16 saat süre uygulanan borlama işlemi sonucunda oluşan bor tabakalarında difüzyon kaynaklı olarak yüzeyden malzeme kayıpları olduğu ve ayrıca malzeme

yüzeylerindeki bazı bölgelerin eğimli, çukurcuklu ve gözenekli yapıda oldukları görülmüştür.

2. Gerçekleştirilen aşınma testleri ve sertlik değerleri arasında bir korelasyon olduğu görülmüştür.
3. Borlama sonrasında en yüksek sertlik değeri 4 saat süre borlanmış malzemede elde edilirken, en düşük sertlik değeri ise 8 saat borlama süresine sahip malzemede elde edilmiştir.
4. Borlama işlemi sonrasında uygulanan XRD analizleri neticesinde Ni₂Si, Ni₄B₃, FeB faz yapılarının ortaya çıktığı görülmüştür.

5. Teşekkür

Yazarlar, deneysel çalışmalarda katkılarından dolayı Karabük Üniversitesi, Malzeme Araştırma Geliştirme Merkezine (MARGEM) teşekkürü bir borç bilmektedir.

6. Kaynaklar

- Akca, E., Gürsel, A., 2015.** A review on superalloys and IN718 nickel-based Inconel superalloy. *Periodicals of engineering and natural sciences*, 3(1): 15-27. <http://dx.doi.org/10.21533/pen.v3i1.43>
- Aytekin, H., Akçin, Y., 2013.** Characterization of borided Incoloy 825 alloy. *Materials Design*, 50, 515-521. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.03.015>
- Barkat, A., Hammou, A.D., Allaoui, O., 2017.** Effect of Boriding on the Fatigue Resistance of C20 Carbon Steel. *Acta Physica Polonica A*, 132, 813-815. 10.12693/APhysPolA.132.813
- Baştürk, S., Erten, M., 2006.** Borlama ile Yüzey Sertleştirme Çalışmaları. *Mühendis ve Makine*, 47 (563), 57-74.
- Bochenek, K., Basista, M., 2015.** Advances in processing of NiAl intermetallic alloys and composites for high temperature aerospace applications. *Progress in Aerospace Sciences*, 79: 136-146. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2015.09.003>
- Bose, S., 2007.** High Temperature Coatings, 1st Edition, Butterworth-Heinemann, Burlington, 299 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8252-7.X5000-8>
- Caruta, B., M., 2005.** Thin Films and Coatings: New Research. Nova Publishers, p. 226.
- Cataldo, J., Galligani, F., Harraden, D., 2000.** Boriding of nickel by the powder-packmethod. *Adv. Mater. Process*, 157: 35-38.
- Campos-Silva, I., Contla-Pacheco A.D., Ruiz-Rios, A., Martinez-Trinidad J., Rodriguez-Castro, G., Meneses-Amador, A., Wong-Angel, W.D., 2018.** Effects of scratch tests on the adhesive and cohesive properties of borided Inconel 718 superalloy. *Surface and Coatings Technology*, 349: 917-927. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.05.086>

- Deng, D. W., Wang, C. G., Liu, Q. Q., Niu, T. T., 2015.** Effect of standard heat treatment on microstructure and properties of borided Inconel 718. *Trans. Nonferrous Metals Soc. China*, 25:437-443. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(15\)63621-4](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(15)63621-4)
- Dinc, H., Motellabzadeh, A., Baydoğan, M., Cimenoglu, H., 2013.** Thermochemical boriding of Inconel 718 superalloy. *Academic Journal of Science*, 2(2).
- Donachie, M.J. and Donachie, S.J., 2002.** Superalloys: a technical guide, *Materials Park*, 2nd Edition, USA, ASM International, 439. 10.31399/asm.tb.stg2.9781627082679
- Dwivedi, G., Viswanathan, V., Sampath, S., 2013.** Multilayer thermal barrier coatings for gasified coal based turbine engines. *Advanced Materials and Processes*, 171: 49-51.
- Günen, A., 2020.** Properties and high temperature dry sliding wear behavior of boronized Inconel 718. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 51(2): 927-939. <https://doi.org/10.1007/s11661-019-05577-3>
- Günen, A., Kanca, E., 2017.** Farklı bor kimyasalları ile borlanmış Inconel 625 alaşımının karakterizasyonu. *Pamukkale Univ. Muh. Bilim Dergisi*, 23(4): 411-416. <http://dx.doi.org/10.5505/pajes.2017.56689>
- Gunes, I., Kayali, Y., 2014.** Investigation of mechanical properties of borided Nickel 201 alloy. *Materials Design*, 53, 577-580. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.07.001>
- Güneş, E., Demirel Ç., Toprak, G., Çetin, M., Gül, F., 2011.** GGG50 Malzemenin Abrasif Aşınma Davranışına Borlamanın Etkisi, In 6th International Advanced Technologies Symposium, 1-5, Elazığ.
- Joshi, A. A., Singh, R. P., Hosmani, S. S., 2017.** Microstructure evolution in boronized inconel 718 superalloy. *Journal of Metallurgy and Materials Science*, 59(1): 11-21.
- Kaplanskii, Y. Y., Levashov, E. A., Korotitskiy, A. V., Loginov, P. A., Sentyurina, Zh. A., Mazalov A. B., 2020.** Influence of aging and HIP treatment on the structure and properties of NiAl-based turbine blades manufactured by laser powder bed fusion. *Additive Manufacturing*, 31: 100999. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100999>
- Kuo, C. M., Yang, Y. T., Bor, H. Y., Wei, C. N., Tai, C. C., 2009.** Aging effects on the microstructure and creep behavior of Inconel 718 superalloy. *Materials Science and Engineering-A*, 510-511: 289-294. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2008.04.097>
- Makuch, N., Kulka, M., 2016.** Fracture toughness of hard ceramic phases produced on Nimonic 80A-alloy by gas boriding. *Ceramics international*, 42(2): 3275-3289. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.10.119>
- Makuch, N., 2020.** Nanomechanical properties and fracture toughness of hard ceramic layer produced by gas boriding of Inconel 600 alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 30(2): 428-448. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(20\)65224-4](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(20)65224-4)
- Makuch, N., Kulka, M., 2014.** Microstructural Characterization And Some Mechanical Properties of Gas-Borided Inconel 600-Alloy. *Applied Surface Science*, 314: 1007-1018. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.06.109>
- Medvedovski, E., Chinski, F.A., Stewart, J., 2014.** Wear-and Corrosion-Resistant Boride-Based Coatings Obtained through Thermal Diffusion CVD Processing. *Advanced Engineering Materials*, 16 (6), 713-728. <https://doi.org/10.1002/adem.201400090>
- Monceau, D., Oquab, D., Estournes, C., Boidot, M., Selezneff, S., Ratel-Ramond N., 2010.** Thermal barrier systems and multi-layered coatings fabricated by spark plasma sintering for the protection of Ni-base superalloys. *Materials Science Forum*, 654: 1826-1831. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.654-656.1826>
- Mu, D., Shen, B. L., Yang, C., Zhao, X., 2009.** Microstructure analysis of boronized pure nickel using boronizing powders with SiC as diluent. *Vacuum*, 83(12), 1481-1484. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2009.06.048>
- Saman, S., 2011.** Microstructure, Oxidation and mechanical properties of assprayed and annealed HVOF and VPS CoNiCrAlY coatings, Phd Thesis, University of Nottingham, 259 pp.
- Schulz, U., Menzebach, M., Leyens, C., Yang, Y. Q., 2001.** Influence of substrate material on oxidation behavior and cyclic lifetime of EB-PVD TBC systems. *Surface and Coatings Technology*, 146: 117-123. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(01\)01481-5](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(01)01481-5)
- Sklenička, V., Kvapilov, M., Král, P., Dvořák, J., Svoboda, M., Podhorná, B., Zýka, J., Hrbáček, K., Joch, A., 2018.** Degradation processes in high-temperature creep of cast cobalt-based superalloys. *Materials Characterization*, 144:479-489. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.08.006>
- Subaşı, E., Kayalı, E., Baydoğan, M., 2016.** Inconel 718 süperalaşımının farklı gerilme ve sıcaklıklarda yüksek sıcaklık sürünme davranışının incelenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 20(1): 47-54. 10.16984/saufenbilder.29235
- Sinha A.K., 1991.** Boriding (Boronizing), ASM Handbook, Heat treating, Materials Park, OH:ASM International, vol. 4, p.437.
- Sista, V., Kahvecioglu, O., Kartal, G., Zeng, Q.Z., Kim, J.H, Eryilmaz, O.L., Erdemir, A., 2013.** Evaluation of electrochemical boriding of Inconel 600. *Surface and Coating Technology*, 215:452-459. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.08.083>

Topuz, P., 2016. DIN 1.2842 çeliğinin borlanması ile oluşan borür tabakası üzerine borlama sıcaklık ve süresinin etkileri. *Bor Dergisi*, 1(1), 15-19.

Yang, X., Li, S., Qi, H., 2015. Effect of high-temperature hot corrosion on the low cycle fatigue behavior of a directionally solidified nickel-base superalloy. *International Journal of Fatigue*, 70: 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2014.08.011>

Yıldız, İ., Güneş, İ., 2020. Borlanmış %5 Mg katkılı Ni-Mg alaşımının yüzey özelliklerinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 23(1), 97-104. <https://doi.org/10.2339/politeknik.512600>

Yılmaz, R., Özyürek, D., Kibar, E., 2013. Yeniden çözeltiyeye alma parametrelerinin 7075 alüminyum alaşımlarının sertlik ve aşınma davranışlarına etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (2).

Yu, B., Li, Y., Nie, Y., Mei, H., 2018. High temperature oxidation behavior of a novel cobalt-nickel-base superalloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 765: 1148-1157. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.06.275>



On The Relativistic Two-center Overlap Integrals of Arbitrary Half-Integral Spin Particles

Keyfi Yarım Spinli Parçacıklar için Rölativistik İki-Merkezli Örtme İntegrali

Ali Bağcı* 

Pamukkale University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, Denizli, Turkey

Abstract

The relativistic $\Psi^{\alpha s}$ -exponential-type spinor orbitals are defined for use in algebraic solution of the Dirac equation of particles with arbitrary half-integral spin s , $s=1/2, 3/2, 5/2, \dots$. The analytical expression given for the two-center overlap integrals over Slater-type spinor orbitals of spin $s=1/2$ particles through the $\Psi^{\alpha s}$ -exponential-type spinor orbitals, is generalized for any half-integral spin. The relativistic two-center overlap integrals are expressed in terms of non-relativistic two-center overlap integrals over the Guseinov's Ψ^{α} -exponential-type orbitals where $\alpha=1, 0, -1, -2, -3, \dots$. In this study, the relativistic molecular auxiliary functions approximation derived in a previous paper by the author in [Physical Review E 2015; 91(2): 023303] is used for accurate calculation of these integrals. The calculations are performed for spin s , $s=1/2$, $s=3/2$ and $\alpha=3, 2, 1, 0, -1, -2, -3$ for each value of spin. The coupling feature between lower- and upper-components of $\Psi^{\alpha s}$ -exponential-type spinor orbitals ensure that the kinetic-balance condition is fulfilled. It is shown that, the suggested relativistic basis spinors in the present study available to be used for algebraic solution of the generalized Dirac equation.

Keywords: Half-integral spin particles, $\Psi^{\alpha s}$ -Exponential-Type Orbitals, Overlap Integrals, Multi-Center Integrals

Öz

Rölativistik $\Psi^{\alpha s}$ -exponansiyel-tipli spinor orbitalleri, keyfi yarım spine s , $s=1/2, 3/2, 5/2, \dots$ sahip parçacıkların Dirac denkleminin cebirsel çözümünde kullanılmak üzere tanımlanır. Spini $s=1/2$ olan parçacıklar için Slater-tipli spinör orbitalleri ile analitik ifadesi verilen bu örtme integralleri, $\Psi^{\alpha s}$ -exponansiyel-tipli spinor orbitalleri yardımı ile herhangi yarım-spine sahip parçacıkların için genelleştirilir. Rölativistik iki-merkezli örtme integralleri Guseinov tarafından önerilen Ψ^{α} -exponansiyel-tipli orbitallerin rölativistik olmayan iki-merkezli örtme integrali cinsinden ifade edilir. Bu çalışmada, yazar tarafından daha önce [Physical Review E 2015; 91(2): 023303]'de önerilmiş olan rölativistik yardımcı fonksiyonlar yaklaşımı iki-merkezli integrallerin hassas hesaplanması amacı ile kullanılır. Hesaplamalar, spini s , $s=1/2$, $s=3/2$ ve herbir spin değeri için $\alpha=3, 2, 1, 0, -1, -2, -3$ olmak üzere gerçekleştirilir. $\Psi^{\alpha s}$ -exponansiyel-tipli spinor orbitallerinin çiftlenim özelliği kinetik-denge koşulunun sağlanmış olduğunu garanti eder. Bu çalışmada önerilen baz spinörlerinin keysi yarım-spine sahip parçacıkların Dirac denkleminin cebirsel çözümünde kullanılabileceği gösterilir

Anahtar Kelimeler: Yarım-Spin Parçacıklar, $\Psi^{\alpha s}$ -Exponansiyel-Tipli Orbitaller, Örtme İntegrali, Çok-Merkezli İntegraller

1. Introduction

The fundamental and most accurate method so far known for electronic structure calculation of atoms and molecules is so called Hartree-Fock self-consistent field approximation (HF-SCF) (Hartree 1928a, Hartree 1928b, Fock 1930a, Fock 1930b). Studies targeting very large molecules use the density functional theory (DFT) (Hohenberg and Kohn 1964) or the Monte-Carlo method (MC) (Hetherington

1984). These methods were developed later on based on the HF-SCF approximation. Yet, necessity of performing HF method for precise calculations of quantum mechanical systems is obvious (Drake and Yan 1994, Yan and Drake 1995, Yan et al. 1998, Wang et al. 2011, Ruiz 2004, Puchalski and Pachucki 2006, Pachucki 2010, Pachucki 2012a, Pachucki 2012b, Pachucki 2013). The elements of matrix form representation of HF equations (Roothaan 1951) are expressed in terms of multi-center integrals. These integrals are constituted with initially determined basis orbitals which are generally classified according to power of the natural exponential function in the radial part of their contents.

*Corresponding author: abagci@pau.edu.tr

They are referred to as Gaussian-type orbitals (GTO) (Boys and Egerton 1950) and exponential-type orbitals (ETO) (Hylleraas 1929, Slater 1930a, Löwdin and Shull 1956, Guseinov 2002) (please see also references therein). The radial part of the GTO have the following form,

$$R_n(\zeta) = r^n e^{-\zeta r^2} \quad (1)$$

where, are the principal quantum numbers. ζ is the orbital parameter. From the non-relativistic point of view i.e., Schrödinger equation, the reason for the suitability of GTO in molecular calculations is that the molecular integrals easily be evaluated. Correct representation of the wave-function at the limit (in the neighborhood or at large distance of the nuclei, cusp condition) (Kato 1957, Agmon 1982) is however, one of the feature that need to be fulfilled for rapid convergence of solution via algebraic approximation (Reinhardt and Hoggan 2009). In the light of this fact, the exponential-type orbitals (ETO) with the following form,

$$R_n(\zeta) = r^n e^{-\zeta r} \quad (2)$$

should also be considered as a basis because they suit to these limit cases better than GTO (Bouferguene et al. 1996, Rico et al. 2001). On the other hand, the problem of molecular integrals evaluation becomes more laborious. Compared to the GTO, this makes the ETO disadvantageous in terms of computation time. The significance of ETO where the theoretical results expected to be in complete agreement with experimental data. Importance of such consistency considerably increases in relativistic calculations (Drake G. W. 2002, Yan and Drake 2002, Wang et al. 2014, Puchalski and Pachucki 2008, Puchalski et al. 2010, Korobov 2002). From the relativistic point of view i.e., the Dirac equation, the Gaussian-type orbitals are naturally satisfying the so called *kinetic-balance* condition (Lee and McLean 1982, Stanton and Havriliak 1984) if of course, the nuclei considered as finite-sized (Pomeranchuk and Smorodinsky 1945, Zeldovich and Popov 1972). The choice for initial basis function is associated with the definition of the nucleus (Ishikawa et al. 1985). The cusp no longer valid. The disadvantage of using GTO in matrix form representation solution of the Dirac equation is that quantum electrodynamics (QED) effects can only be taken into account perturbatively (Shytov et al. 2007). Defining the model of nucleus as point-like, this means using exponential-type function as a spinors basis, allows direct solution of the Dirac equation without any approximation but this requires coupling between large- and small-components of the used basis function (Bağcı and Hoggan 2016, Bağcı 2020).

Any function as radial part for the basis orbital can actually, be used in the variational Hartree-Fock method (Slater 1930b, Kutzelnigg 2012). The choice depends to the properties of the system and it is admissible as long as the domain for the energy spectrum of the Schrodinger or the Dirac equation is taken into account (Gitman et al. 2012). For electrons moving around a central Coulomb potential the best way to determine the radial basis function is that simplification of the wave-function obtained from and exact solution. In this case exact solution of the Schrödinger or the Dirac equation for the hydrogen-like systems. The Slater-type orbitals (STO, χ -STO) (Slater, 1930a), are derived by simplification of Laguerre polynomials in hydrogen-like wave-functions. They are the simplest and well-known type of ETO (Avery and Avery 2015). They are however, not orthogonal with respect to principal quantum number. The orthogonality property has a critical role in evaluation of molecular the three- and four-center integrals. These integrals have no closed form relations. The necessity of using orbital or charge density [$\rho_{pq} = \chi_p(r_a)\chi_q^*(r_b)$] translation via complete orthonormal ETO arise due to there is no so far known an alternative approximation. Here, $\{pq\}$ represent the quantum numbers. The translation method involve series whose convergence may be increased if Guseinov's complete orthonormal sets of ψ^α -ETO (Guseinov 2002) is used (Figure 1).

The indices α by Guseinov himself defined as a new quantum number. The claim is that, ψ^α -ETO correspond to the total centrally symmetric potential which contains the core attraction potential and the Lorentz potential of the field produced by the particle itself. The accordingly, is called to as the frictional quantum number (Guseinov 2007, Guseinov 2012). The Lambda functions (Hylleraas 1929) and Coulomb-Sturmians (Löwdin and Shull 1956) are also obtained from certain integer values of $\alpha, \alpha = 0, \alpha = 1$ respectively.

The relations of Lambda and Coulomb-Sturmians with other ETO basis sets are described in (Guseinov 2002) and in (Filter and Steinborn 1980, Trivedi and Steinborn 1982, Weniger 1985). Since the indices α free from any constraint yet the ψ^α -ETO are still complete and orthonormal in any value of α , various series expansion relations can be constructed and their convergence can be tested in the both relativistic and non-relativistic molecular integrals evaluation procedure. This provide further advantage in quantum mechanical electronic structure calculations (Guseinov and Aksu 2008, Aksoy et al. 2013; Guseinov

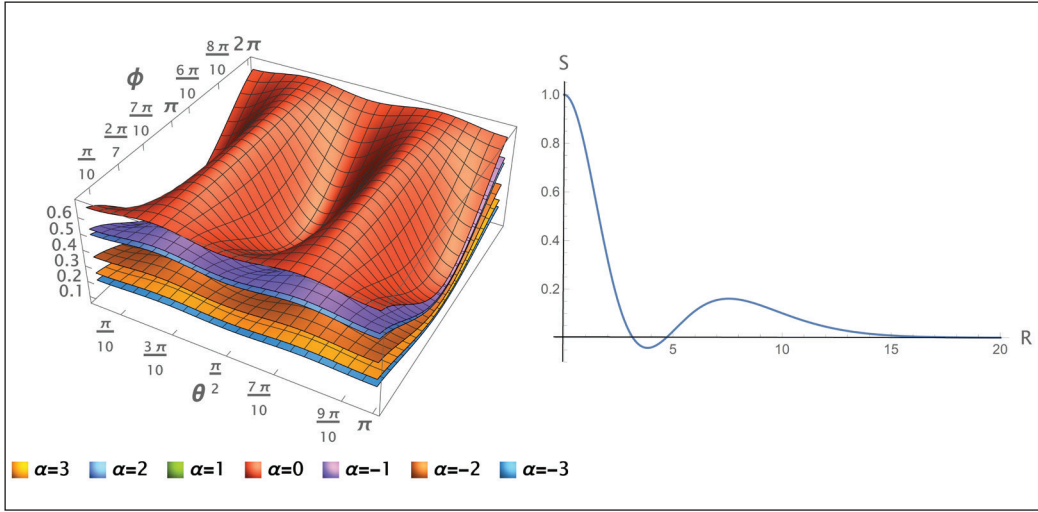


Figure 1. Results for the non-relativistic two-center overlap integrals over ψ^α -ETO in atomic units (a.u.) where, $nlm_l = 211, n'l'm_l = 211, \rho = 2, \tau = 0$. Left hand- and right hand-side of the figure are results integrals depending on the rotational angles (Θ, Φ) and the inter-nuclear distance R , respectively.

et al. 2014). The non-relativistic Coulomb-Sturmians introduced as *good bases* (Bretin and Gazeau, 1982) for use in solution of the Dirac equation of higher half-spin particles moving around a Coulomb field. The relativistic two-center overlap integrals for $s = \frac{1}{2}$ using Dirac-Slater orbitals have calculated by Talman (2004). This calculation procedure by the author extended to the half-integral spin case in (Guseinov et al. 2012). In the present study, we consider to use the ψ^α -ETO for such systems because they are sets of complete orthonormal basis functions that make them naturally legitimate and more favorable. The radial parts of the ψ^α -ETO used in the present work for relativistic orbitals are the same and they are complete without the inclusion of the continuum. They ensure the variational stability (Schwarz and Wallmier 1982) for spin $s, s > \frac{1}{2}$. The relativistic calculations for multi-center integrals over ψ^α -ETO thus, allows easy for arbitrary values of spin with help of the ETO.

2. Definitions

The $(2s + 1)$ large, and small-components of relativistic exponential-type spinor Ψ^{as} -ETSO basis sets are defined as (Guseinov 2007, Guseinov, 2009, Guseinov 2010, Guseinov 2012),

$$\Psi_{nljm}^{as}(\zeta, \vec{r}) = N_{nl}(\zeta) \begin{bmatrix} \Psi_{nljm}^{asl}(\zeta, \vec{r}) \\ \Psi_{nljm}^{ass}(\zeta, \vec{r}) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

here, L, S represent the large- and small-components of the spinor orbitals, respectively. They are written below explicitly as,

$$\Psi_{nljm}^{asL}(\zeta, \vec{r}) = \begin{bmatrix} \Psi_{nljm}^{as0}(\zeta, \vec{r}) \\ \Psi_{nljm}^{as2}(\zeta, \vec{r}) \\ \vdots \\ \Psi_{nljm}^{as2s-1}(\zeta, \vec{r}) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\Psi_{nljm}^{asS}(\zeta, \vec{r}) = \begin{bmatrix} \Psi_{nljm}^{as2s-1}(\zeta, \vec{r}) \\ \vdots \\ \Psi_{nljm}^{as2}(\zeta, \vec{r}) \\ \Psi_{nljm}^{as0}(\zeta, \vec{r}) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Note that, the notation used in this paper is similar with ones used in (Grant 2007, Niederle and Nikitin 2006) Now, for each component in the Eqs. (4, 5) we have,

$$\Psi_{nljm}^{as\lambda}(\zeta, \vec{r}) = \begin{bmatrix} A_{jm}^{ls}(\lambda) \psi_{nlm(\lambda)}^\alpha(\zeta, \vec{r}) \\ B_{jm}^{ls}(\lambda) \psi_{nlm(\lambda)}^\alpha(\zeta, \vec{r}) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\Psi_{nljm}^{as\lambda}(\zeta, \vec{r}) = \begin{bmatrix} A_{jm}^{ls}(\lambda) \psi_{nlm(\lambda)}^\alpha(\zeta, \vec{r}) \\ B_{jm}^{ls}(\lambda) \psi_{nlm(\lambda)}^\alpha(\zeta, \vec{r}) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} A_{jm}^{ls}(\lambda) &= \eta_t C_{jm}^{ls}(\lambda) \beta_{m(\lambda)} \\ B_{jm}^{ls}(\lambda) &= \eta_t C_{jm}^{ls}(\lambda + 1) \beta_{m(\lambda+1)} \end{aligned} \quad (8)$$

$$A_{jm}^{ls}(\lambda) = -i C_{jm}^{ls}(2s - \lambda) \beta_{m(2s-\lambda)}$$

$$B_{jm}^{ls}(\lambda) = -i C_{jm}^{ls}(2s - (\lambda + 1)) \beta_{m(2s-(\lambda+1))}$$

where $m_l = m(\lambda) = m - s + \lambda, \beta(\lambda) = (-1)^{[|m(\lambda)| - m(\lambda)]}$,

$$0 \leq \lambda \leq 2s - 1$$

$$t = 2(j - l) = \pm 1, \pm 3, \dots, 2s, \eta_t = \frac{t}{|t|}, j \leq s, -j \leq m \leq j,$$

$$l = j - \frac{1}{2}t, \tilde{n} = n + t, \tilde{l} = l + t = j + \frac{1}{2}t.$$

$C_{jm}^{ls}(\lambda)$ are the modified Clebsch-Gordan coefficients. They are determined by (Wigner 1959; Condon and Shortley 1970),

$$\begin{aligned} C_{jm}^{ls}(\lambda) &= \langle lsm(\lambda) s - \lambda | lsm \rangle \\ &= (-1)^{m(\lambda) + l - s} \sqrt{2j + 1} \begin{pmatrix} l & s & j \\ m(\lambda) & s - \lambda & -m \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

here, $\begin{pmatrix} j_1 & j_2 & j_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \end{pmatrix}$ are the Wigner 3-j-symbols. The Racah formula is used for computation of them:

$$\begin{pmatrix} j_1 & j_2 & j_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 \end{pmatrix} = (-1)^{j_1-j_2-m_3} \sqrt{\nabla(j_1, j_2, j_3)} \sqrt{J_1 J_2 J_3} \sum_t \frac{(-1)^t}{J_{j_1 m_1 j_2 m_2 j_3 m_3}^t} \quad (10)$$

$$J_1 = (j_1 + m_1)! (j_1 - m_1)! \\ J_2 = (j_2 + m_2)! (j_2 - m_2)! \quad (11)$$

$$J_3 = (j_3 + m_3)! (j_3 - m_3)! \\ J_{j_1 m_1 j_2 m_2 j_3 m_3}^t = (j_3 + j_1 + t + m_1)! (j_3 - j_2 + t + m_2)! \\ (j_1 + j_2 - j_3 - t)! (j_1 - t - m_1)! (j_2 - t - m_2)!, \quad (12)$$

and, with, $\nabla(j_1, j_2, j_3)$ is a triangle coefficient (Shore and Menzel 1968) (Figure 2).

The non-relativistic scalar ψ^α -ETO functions used in the present paper defined as (Guseinov 2002),

$$\psi_{nlm}^\alpha(\zeta, \vec{r}) = (-1)^\alpha \left\{ \frac{(2\zeta)^3 (n-l-1)!}{(2n)^\alpha [(n+l+1-\alpha)!]^3} \right\}^{\frac{1}{2}} \\ (2\zeta r)^l e^{-\zeta r} L_{n+l+1-\alpha}^{2l+2-\alpha}(2\zeta r) Y_{lm}(\theta, \varphi) \quad (13)$$

$Y_{lm}(\theta, \varphi)$ are the normalized complex or real spherical harmonics ($Y_{lm} \equiv S_{lm}$) that differs from Condon-Shortley phases by sign factor $(-1)^m$, $L_q^p(x)$ are the generalized Laguerre polynomials (Abramowitz and Stegun 1972).

The ψ^α -ETO are orthonormal with respect to the weight function $\left(\frac{n}{\zeta r}\right)^\alpha$;

$$\int \psi_{nlm}^{\alpha*}(\zeta, \vec{r}) \left(\frac{n}{\zeta r}\right)^\alpha \psi_{n'l'm'}^\alpha(\zeta, \vec{r}) dV = \delta_{nn'} \delta_{ll'} \delta_{mm'} \quad (14)$$

3. The Two-center Overlap Integrals of $\Psi_{nljm}^{\alpha s}$ ETSO in Terms of Non-Relativistic Overlap Integrals

According to Refs. (Talman 2004; Guseinov et al. 2012; Niederle and Nikitin 2006) the two-center overlap of $2(2s+1)$ -component $\Psi_{nljm}^{\alpha s}$ ETSO in terms of ψ^α ETO

determined by;

$$S_{nljm, n'l'j'm'}^{\alpha s}(\rho, \tau) = \int \Psi_{nljm}^{\alpha s}(\zeta, r\vec{a}) \Psi_{n'l'j'm'}^{\alpha s}(\zeta', r\vec{b}) dV \\ = N_{nl}(\zeta) N_{n'l'}(\zeta') \\ \times \sum_{\lambda=0}^{2s} [\Lambda_{nljm, n'l'j'm'}^{\alpha s}(\rho, \tau) + \Omega_{nljm, n'l'j'm'}^{\alpha s}(\rho, \tau)], \quad (15)$$

where, $\rho = \frac{R}{2}(\zeta + \zeta')$, $\tau = \frac{\zeta - \zeta'}{\zeta + \zeta'}$. $\Lambda_{nljm, n'l'j'm'}^{\alpha s}(\rho, \tau)$ and $\Omega_{nljm, n'l'j'm'}^{\alpha s}(\rho, \tau)$ are the two-center overlap integrals for elements of the large- and small-components of $\Psi_{nljm}^{\alpha s}$ -ETSO, respectively. They are expressed as follows,

$$\Lambda_{nljm, n'l'j'm'}^{\alpha s}(\rho, \tau) = \int \Psi_{nljm}^{\alpha s \lambda}(\zeta, r\vec{a}) \Psi_{n'l'j'm'}^{\alpha s \lambda}(\zeta', r\vec{b}) dV \\ = \eta_l n_l' \{ [C_{jm}^{\lambda s}(\lambda) \beta_{m(\lambda)} C_{j'm'}^{\lambda s}(\lambda) \beta_{m'(\lambda)}] S_{nljm(\lambda), n'l'j'm'(\lambda)}^\alpha(\rho, \tau) \} \\ + [C_{jm}^{\lambda s}(\lambda+1) \beta_{m(\lambda+1)} C_{j'm'}^{\lambda s}(\lambda+1) \beta_{m'(\lambda+1)}] S_{nljm(\lambda+1), n'l'j'm'(\lambda+1)}^\alpha(\rho, \tau), \quad (16)$$

$$\Omega_{nljm, n'l'j'm'}^{\alpha s}(\rho, \tau) = \int \Psi_{nljm}^{\alpha s \lambda}(\zeta, r\vec{a}) \Psi_{n'l'j'm'}^{\alpha s \lambda}(\zeta', r\vec{b}) dV \\ = \eta_l n_l' \left\{ [C_{jm}^{\lambda s}(2s-\lambda) \beta_{m(2s-\lambda)} C_{j'm'}^{\lambda s}(2s-\lambda) \beta_{m'(2s-\lambda)}] \right\} \\ \left\{ S_{nljm(2s-\lambda), n'l'j'm'(2s-\lambda)}^\alpha(\rho, \tau) \right\} \\ + [C_{jm}^{\lambda s}(2s-(\lambda+1)) \beta_{m(2s-(\lambda+1))} C_{j'm'}^{\lambda s}(2s-(\lambda+1)) \beta_{m'(2s-(\lambda+1))}] \\ \times S_{nljm(2s-(\lambda+1)), n'l'j'm'(2s-(\lambda+1))}^\alpha(\rho, \tau) \quad (17)$$

The non-relativistic $S_{nlm, n'l'm'}^\alpha(\rho, \tau)$ overlap integrals occurring in Eqs. (15-17) are defined in molecular coordinate system as (Guseinov, 1985; Guseinov and Şahin, 2010),

$$S_{nlm, n'l'm'}^\alpha(\rho, \tau) = \int \psi_{nlm}^{\alpha*}(\zeta, r\vec{a}) \psi_{n'l'm'}^\alpha(\zeta', r\vec{b}) dV = \\ = \sum_{v=0}^{\min(l, l')} T_{lm, l'm'}^{v*}(\Theta, \Phi) S_{nlv, n'l'v}^\alpha(\rho, \tau) \quad (18)$$

$S_{nlv, n'l'v}^\alpha(\rho, \tau)$ are the two-center overlap integrals over ψ^α -ETO in the lined-up molecular coordinate system. Three are several ways of computation that we know they give accurate results for the $S_{nlv, n'l'v}^\alpha(\rho, \tau)$. Expressing the ψ^α

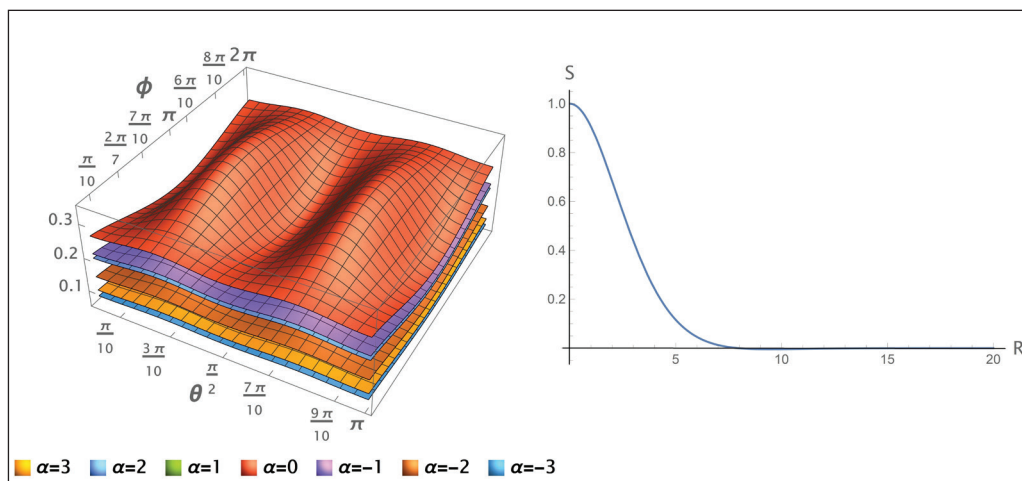


Figure 2. Results for the relativistic two-center overlap integrals over Ψ^α -ETO in atomic units (a.u.) where, $s = \frac{1}{2}$, $nljm = 21 \frac{1}{2} \frac{1}{2}$, $n'l'j'm' = 21 \frac{1}{2} \frac{1}{2}$, $\rho = 2$, $\tau = 0$. Left hand- and right hand-side of the figure are results integrals depending on the rotational angles (Θ, Φ) and the inter-nuclear distance R , respectively.

-ETO in terms of χ -STO using the following formulae,

$$\Psi_{nlm_l}^\alpha(\zeta, \vec{r}) = \sum_{n'=l+1}^n \omega_{n'l}^{\alpha l} \chi_{n'l m_l}(\zeta, \vec{r}),$$

then utilizing from the numerical integration procedure suggested by the author (Bağcı and Hoggan 2014) to improve the accuracy in Guseinov's approach (2007) is one of them. Here, $\omega_{n'l}^{\alpha l}$ are the expansion coefficients. Direct calculation of $S_{nlv, n'l'v}^\alpha(\rho, \tau)$ via relationships given in (Guseinov and Şahin 2010) is the other one. In both through the prolate spheroidal coordinates

$$1 \leq \mu \leq \infty, -1 \leq v \leq 1, 0 \leq \varphi \leq 2\pi, \\ \mu = \frac{r_a + r_b}{R}, v = \frac{r_a - r_b}{R}, R = r\bar{a} - r\bar{b} \quad ,$$

the analytical expressions are reduced product of angular momentum coefficients and so called the molecular auxiliary functions which their simple form here, are given as (Guseinov 1970, Pople and Beveridge 1970),

$$Q_{NN'}^q(\rho, \tau) = \int_1^\infty \int_{-1}^1 (\mu v)^q (\mu + v)^N (\mu - v)^N e^{-\rho\mu - \rho\tau v} d\mu dv, \quad (20)$$

where, $\{q, N, N'\} \in Z, \{\rho, \tau\} \in R$. The domain of the parameters allow to take advantage of the binomial series expansion for $(\mu + v)^N (\mu - v)^N$ and reduce the analytical evaluation for the Eq. (20) to the integrals which have the following form:

$$M_a^1(p) = \int_1^\infty x^a e^{-ax} dx, M_a^2(p) = \int_{-1}^{-1} x^a e^{-ax} dx. \quad (21)$$

These auxiliary functions are the special case of relativistic molecular auxiliary functions defined by the author via transformation of the relativistic two-center two-electron Coulomb energy associated with a charge density into a kinetic energy-like integrals using the Poisson equation in (Bağcı and Hoggan 2015) (please see also references therein). The resulting expression was obtained by expanding the potential in the set of Slater-type functions with noninteger values of principal quantum numbers. In this case the domain for the parameters expand. They now, free to take any real values (see the appendix for detail). This generalized form of the Eq. (20) can be calculated either numerical or analytical through the methods given again by the author in (Bağcı and Hoggan 2014, Bağcı and Hoggan 2015) and in a series of papers in (Bağcı and Hoggan 2018, Bağcı et al. 2018, Bağcı and Hoggan 2020), respectively. An Efficient method for evaluation of the rotation angular functions $T_{lm_l, l'm_l}^{v*}(\Theta, \Phi)$ derived recently (Guseinov 2011). This method is an improvement to a previous work (Guseinov 1985). It is used for both real and complex spherical harmonics:

$$T_{lm_l, l'm_l}^{kl} = \begin{cases} D_{lm_l, l'm_l}^{kl}, & \text{for complex SH} \\ D_{lm_l, l'm_l}^{kl}, & \text{for real SH} \end{cases} \quad (22)$$

$$D_{lm_l, l'm_l}^{kl} = \frac{2}{1 + \delta_{k0}} C_{-kk0}^{llL} C_{-mlm_l}^{llL} M\left(\frac{4\pi}{2L+1}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (23)$$

$$D_{lm_l, l'm_l}^{kl} = \frac{(-1)^{\delta_{m_l - |m_l|}} (-i)^{\delta_{m_l - |m_l|}} (D_{l|m_l|, l'|m_l|}^{kl} + D_{l-|m_l|, l'|m_l|}^{kl})}{2[(1 + \delta_{m_l})(1 + \delta_{m_l'})]^{\frac{1}{2}}} \\ + \varepsilon m_l D_{l-|m_l|, l'|m_l|}^{kl} + \varepsilon m_l' D_{l|m_l|, l'-|m_l|}^{kl} + \varepsilon m_l \varepsilon m_l' D_{l-|m_l|, l'-|m_l|}^{kl}. \quad (24)$$

4. Results and Discussions

The calculation method suggested in this study is used evaluation of the relativistic molecular integrals arise in algebraic solution of the Dirac equation for particles in a central Coulomb field. The wave-equation accordingly restricted to kinematic role. This is due to fully adequate formalism that describe higher spin field not available yet. The literature besides no longer insist in forming the Lagrangian formalism. The higher spin particles Dirac equation instead, is generalization of the Dirac equation correspond to the representation $(\frac{1}{2}, 0) \times (0, \frac{1}{2})$ to representation $(s, 0) \times (0, s)$.

The $2(2s+1)$ -component formalism used in the present study according to the above approximation, depend on both Minkowski space coordinates and some continuous variables corresponding to spin degrees of freedom. A more detailed discussion on the wave-function for the half-integral spin Dirac equation of a charged particle moving around the Coulomb potential can be found in (Niederle and Nikitin 2006, Gazeau 1980). The conclusion we have reached from these works is that the Coulomb-Sturmian functions can be used for solution of the Dirac-like equations. The relativistic Coulomb-Sturmians are obtained based on the Sturm-Liouville problem. They are the solution of the second order Dirac-Coulomb differential equation (Szmytkowski 1997). It is however, for the higher spin Dirac-like equation more proffered to use their non-relativistic counterpart (Bretin and Gazeau 1982). They are a sub-set of the $\Psi_{nljm}^{\alpha s}$ -ETSO while $\alpha = 1$. The $\Psi_{nljm}^{\alpha s}$ -ETSO accordingly are proposed for use in the present paper. A method guarantees highly accurate calculation for the relativistic molecular integrals over ψ^α -ETO is derived based on the recent papers published by the author (Bağcı and Hoggan 2014) (Bağcı and Hoggan 2015, Bağcı and Hoggan 2018, Bağcı, et al. 2018, Bağcı and Hoggan 2020). These integrals may arise in the matrix form representation of the Dirac-like equation. As a sample, a detailed discussion is made for two-center overlap integrals. They are defined in terms of overlap integrals over non-

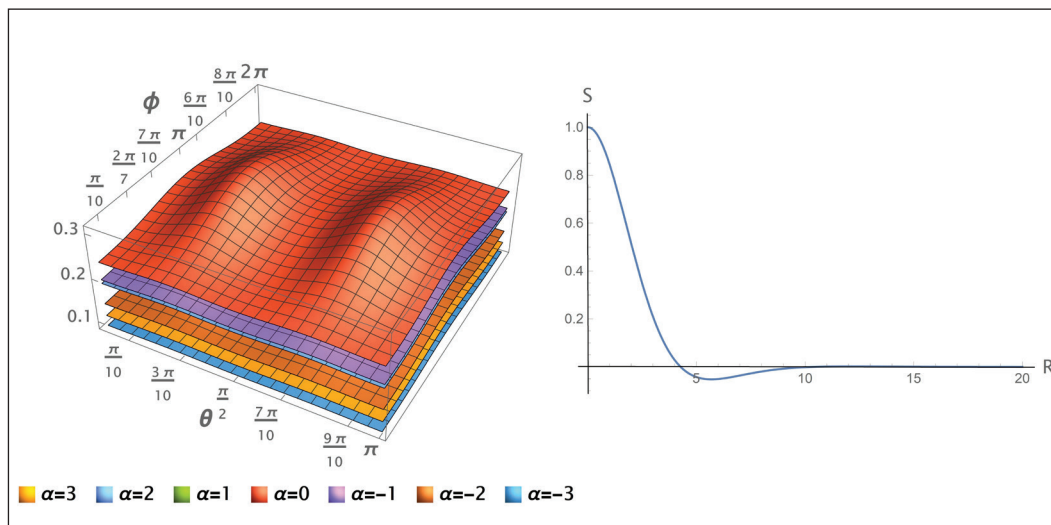


Figure 3. Results for the relativistic two-center overlap integrals over Ψ^{as} -ETO in atomic units (a.u.) where,

$$s = \frac{3}{2}, nljm = 21 \frac{3}{2} \frac{3}{2},$$

$$n'l'j'm' = 21 \frac{3}{2} \frac{3}{2}, \rho = 2,$$

$$\tau = 0.$$

Left hand- and right hand-side of the figure are results integrals depending on the rotational angles (Θ, Φ) and the inter-nuclear distance R , respectively.

relativistic scalar ψ^α -ETO. Note that, a computer program for fast and accurate calculation of relativistic molecular auxiliary functions and overlap integrals recently, has been written (Bağcı and Hoggan 2020) in *Julia* programming language. We plan to present this computer program code in future.

The expansion and one-range addition theorem are now available to be used for multi-center integrals of $2(2s+1)$ -component Ψ_{nljm}^{as} -ETO. The method of computation for relativistic molecular integrals over Ψ_{nljm}^{as} -ETSO require a proof that satisfactory accuracy is obtained for molecular auxiliary functions. For this the molecular two-center overlap integrals over scalar χ -STO should be calculated at first. Then, it would be quite sufficient using the relationship given in the Eq. (19). This is for representing the ψ^α -ETO in terms of χ -STO. Since this task completed by the author, necessity of an additional investigation for accurate calculation of the two-center overlap integrals is obviously eliminated. Instead here, we investigate the behavior two-center overlap integrals depending on rotation angles (Θ, Φ) and inter-nuclear distance R to see whether the relativistic two-center overlap integrals fulfill the orthogonality property or not. The results are presented in the Figures. 1, 2 and 3. In the Fig. 1 the results non-relativistic scalar ψ^α -ETO, in the Figures 2 and 3 the results for relativistic Ψ_{nljm}^{as} -ETSO with spin $s, s = \frac{1}{2}$ and $s = \frac{3}{2}$ are given, respectively. At the left (Fig. 1a and Fig. 2a) and right (Fig. 1b and Fig. 2b) hand-side of these figures the results are given for angular momentum quantum number $l, l = 1, l = 2$. It can be seen from these figures that the expected density distributions for the given angular momentum quantum number $l = 1$ are obtained (Fig. 1a and Fig. 2a). From the figures we can

see that for all the orthogonality property is satisfied (Fig. 1b and Fig. 2b). These results are enough to have conclusion that the Ψ_{nljm}^{as} -ETSO can be used for solution of the Dirac equation with half-integral spin.

5. Appendix

The general, relativistic form of the molecular auxiliary functions of the Eq. (20) in prolate spheroidal coordinates have the following form (Bağcı and Hoggan 2015),

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{n_2 n_3 n_4}^{n_1 q}(p_{123}) \\ Q_{n_2 n_3 n_4}^{n_1 q}(p_{123}) \end{array} \right\} = \frac{p_1^{n_1}}{(n_4 - n_1)_{n_1}} \int_{-1}^{\infty} \int_{-1}^1 (\mu v)^q (\mu + v)^{n_2} (\mu - v)^{n_3} \times \left\{ \begin{array}{l} P[n_4 - n_1, p_1, f_{ij}^k(\mu, v)] \\ Q[n_4 - n_1, p_1, f_{ij}^k(\mu, v)] \end{array} \right\} e^{-p_2 \mu - p_3 v} d\mu dv \quad (\text{A.1})$$

here, $\{q, n_1\} \in Z, \{n_1, n_2, n_3\} \in R, p_{123}$

$$= \{p_1, p_2, p_3\}, p_1 > 0, p_2 > 0, -p_2 \leq p_3 \leq p_2, P, Q$$

are the normalized complementary incomplete and the normalized incomplete gamma functions;

$$P[a, z] = \frac{\gamma(a, z)}{\Gamma(a)}, \quad Q[a, z] = \frac{\Gamma(a, z)}{\Gamma(a)}, \quad (\text{A.2})$$

with, $\gamma(a, z)$ and $\Gamma(a, z)$ are incomplete gamma functions.

$$\gamma(a, z) = \int_0^z t^{a-1} e^{-t} dt, \quad \Gamma(a, z) = \int_z^{\infty} t^{a-1} e^{-t} dt, \quad (\text{A.3})$$

$\Gamma(a)$ is the complete gamma function,

$$\Gamma(a) = \Gamma(a, z) + \gamma(a, z) \quad (\text{A.4})$$

And the Pochhammer's symbol $(a)_n$ is defined as,

$$(a)_n = \frac{\Gamma(a+n)}{\Gamma(a)}. \quad (\text{A.5})$$

$f_{ij}^k(\mu, v)$ is the irreducible representation of an interaction potential,

$$f_{\nu}^{\mu}(\mu, v) = (\mu v)^{\nu} (\mu + v)^{\nu} (\mu - v)^{\nu}. \quad (\text{A.6})$$

For Coulomb potential it has a form that, $f_{10}^0(\mu, v) = \mu + v$.

6. Acknowledgement

This work is dedicated in memory of Professor Israfil Guseinov who was my PhD thesis advisor. He well adapted his great experience on mathematical analysis for use in quantum chemistry especially when exponential-type orbitals are considered as a basis sets. His works on this field for me in fact, is still a source of inspiration to find an effective and practical solution for a mathematical expression that came to impasse. He unfortunately, passed away in February of last year.

In this study, the author A. B. was supported by the Scientific Research Coordination Unit of Pamukkale University under the project number 2020BSP011.

7. References

- Abramowitz, M., & Stegun, IA. 1972.** *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*. New York, USA: Dover Publications.
- Agmon, S. 1982.** *Lectures on Exponential Decay of solution of Second-Order Elliptic Equations: Bound on Eigenfunctions of N-body Schrödinger Operators*. Princeton, USA: Princeton University Press.
- Aksoy, S., Fırat, S., Ertürk, M. 2013.** Chapter 8 - Further Improvements on PA-ETOs with Hyperbolic Cosine Functions and Their Effectiveness in Atomic Calculations. P. E. Hoggan (Dü.) içinde, *Proceedings of MEST 2012: Exponential Type Orbitals for Molecular Electronic Structure Theory* (Cilt 67, s. 217-230). Academic Press.
- Avery, JE., Avery, JS. 2015.** Chapter Six-Molecular Integrals for Exponential-Type Orbitals Using Hyperspherical Harmonics. J. R. Sabin (Dü.) içinde, *Advances in Quantum Chemistry* (Cilt 70, s. 265-324). London, Cambridge: Academic Press.
- Bağcı, A. 2020.** Advantages of Slater-type spinor orbitals in the Dirac-Hartree-Fock method. Results for hydrogen-like atoms with super-critical nuclear charge. *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 31(2), 369-385. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1007/s12210-020-00899-6" 10.1007/s12210-020-00899-6
- Bağcı, A., Hoggan, PE. 2016.** Solution of the Dirac equation using the Rayleigh-Ritz method: Flexible basis coupling large and small components. Results for one-electron systems. *Phys. Rev. E*, 94(1), 013302. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRevE.94.013302" 10.1103/PhysRevE.94.013302
- Bağcı, A., Hoggan, PE. 2014.** Performance of numerical approximation on the calculation of overlap integrals with noninteger Slater-type orbitals. *Phys. Rev. E*, 89(5), 053307. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRevE.89.053307" 10.1103/PhysRevE.89.053307
- Bağcı, A., Hoggan, PE. 2015.** Benchmark values for molecular two-electron integrals arising from the Dirac equation. *Phys. Rev. E*, 91(2), 023303. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRevE.91.023303" 10.1103/PhysRevE.91.023303
- Bağcı, A., Hoggan, PE. 2018.** Analytical evaluation of relativistic molecular integrals. I. Auxiliary functions. *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 29(1), 191-197. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1007/s12210-018-0669-8" 10.1007/s12210-018-0669-8
- Bağcı, A., Hoggan, PE. 2020.** Analytical evaluation of relativistic molecular integrals: III. Computation and results for molecular auxiliary functions. *Rend. Fis. Acc. Lincei, accepted(online)*. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1007/s12210-020-00953-3" 10.1007/s12210-020-00953-3
- Bağcı, A., Hoggan, PE., Adak, M. 2018.** Analytical evaluation of relativistic molecular integrals. II: Method of computation for molecular auxiliary functions involved. *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 29(4), 765-775. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1007/s12210-018-0734-3" 10.1007/s12210-018-0734-3
- Bouferguene, A., Fares, M., Hoggan, PE. 1996.** STOP: A slater-type orbital package for molecular electronic structure determination. *Int. J. Quant. Chem.*, 57(4), 801-810. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-461X(1996)57:4%3c801::AID-QUA27%3e3.0.CO;2-0" 10.1002/(SICI)1097-461X(1996)57:4<801::AID-QUA27>3.0.CO;2-0
- Boys, SF., Egerton, AC. 1950.** Electronic wave functions-I. A general method of calculation for the stationary states of any molecular system. *Proc. R. Soc. Lond.*, 200(163), 542-554. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1098/rspa.1950.0036" 10.1098/rspa.1950.0036
- Bretin, C., Gazeau, JP. 1982.** A Coulomb Sturmian basis for any spin. *Physica A*, 114(1), 428-432. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1016/0378-4371(82)90326-0" 10.1016/0378-4371(82)90326-0
- Condon, EU., Shortley, GH. 1970.** *The Theory of Atomic Spectra*. London, Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Drake, GW., Yan, ZC. 1994.** Variational eigenvalues for the S states of helium. *Chem. Phys. Lett.*, 229(4), 486-490. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1016/0009-2614(94)01085-4" 10.1016/0009-2614(94)01085-4
- Drake, GW. 2002.** Progress in helium fine-structure calculations and the fine structure constant. *Can. J. Phys.*, 80(11), 1195-1212. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1139/p02-111" 10.1139/p02-111

- Filter, E., Steinborn, EO. 1980.** A matrix representation of the translation operator with respect to a basis set of exponentially declining functions. *J. Math. Phys.*, 21(12), 2725-2736. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1063/1.524390" 10.1063/1.524390
- Fock, VA. 1930a.** "Selfconsistent field" mit Austausch für Natrium. *Z. Phys.*, 62(11), 795-805. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1007/BF01330439" 10.1007/BF01330439
- Fock, VA. 1930b.** Näherungsmethode zur Lösung des quantenmechanischen Mehrkörperproblems. *Z. Phys.*, 61(1), 126-148. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1007/BF01340294" 10.1007/BF01340294
- Gazeau, JP. 1980.** The Dirac equation with arbitrary spin and mass, a simple and natural construction. *J. Phys. G: Nuc. Phys.*, 6(12), 1459-1475. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1088/0305-4616/6/12/004" 10.1088/0305-4616/6/12/004
- Gitman, D. M., Tyutin, IV., Voronov, BL. 2012.** *Self-adjoint extensions in quantum mechanics* (Progress in Mathematical Physics b, Cilt 62). New York, USA: Springer.
- Grant, IP. 2007.** *Relativistic Quantum Theory of Atoms and Molecules*. New York, USA: Springer-Verlag.
- Guseinov, II. 1970.** Analytical evaluation of two-centre Coulomb, hybrid and one-electron integrals for Slater-type orbitals. *J. Phys. B: At. Mol. Phys.*, 3(11), 1399-1412. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1088/0022-3700/3/11/001" 10.1088/0022-3700/3/11/001
- Guseinov, II. 1985.** Evaluation of two-center overlap and nuclear-attraction integrals for Slater-type orbitals. *Phys. Rev. A*, 32(3), 1864-1866. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRevA.32.1864" 10.1103/PhysRevA.32.1864
- Guseinov, II. 2002.** New complete orthonormal sets of exponential-type orbitals and their application to translation of Slater orbitals. *Int. J. Quant. Chem.*, 90(1), 114-118. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1002/qua.927" 10.1002/qua.927
- Guseinov, II. 2007.** New Developments in Quantum Mechanics and Applications. *AIP Conference Proceedings*, 899, s. 65-68. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1063/1.2733044" 10.1063/1.2733044
- Guseinov, II. 2012.** New Complete Orthonormal Sets of Exponential-Type Orbitals in Standard Convention and Their Origin. *Bull. Chem. Soc. Japan*, 85(12), 1306-1309. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1246/bcsj.20120207" 10.1246/bcsj.20120207
- Guseinov, II., Mamedov, BA. 2007.** On the Accurate Evaluation of Overlap Integrals over Slater Type Orbitals Using Analytical and Recurrence Relations. *Z. Naturforsch.*, 62a(9), 467-470. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1515/zna-2007-0901" 10.1515/zna-2007-0901
- Guseinov, II., Şahin, E. 2010.** Evaluation of one-electron molecular integrals over complete orthonormal sets of PA-ETO using auxiliary functions. *Int. J. Quant. Chem.*, 110(10), 1803-1808. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1002/qua.22369" 10.1002/qua.22369
- Guseinov, II., Aydın, R., Bağcı, A. 2012.** Calculation of overlap integrals over Slater-type spinor orbitals of arbitrary half-integral spin using auxiliary functions. *Phil. Mag.*, 92(18), 2375-2381. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1080/14786435.2012.670284" 10.1080/14786435.2012.670284
- Guseinov, II. 2007.** Unified treatment of complete orthonormal sets for wave functions, and Slater orbitals of particles with arbitrary spin in coordinate, momentum and four-dimensional spaces. *Phys. Lett. A*, 372(1), 44-48. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1016/j.physleta.2007.07.005" 10.1016/j.physleta.2007.07.005
- Guseinov, II. 2009.** Theory of complete orthonormal sets of relativistic tensor wave functions and Slater tensor orbitals of particles with arbitrary spin in position, momentum and four-dimensional spaces. *Phys. Lett. A*, 373(25), 2178-2181. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1016/j.physleta.2009.04.025" 10.1016/j.physleta.2009.04.025
- Guseinov, II. 2010.** Combined theory of two- and four-component complete orthonormal sets of spinor wave functions and Slater type spinor orbitals in position, momentum and four-dimensional spaces. *J. Math. Chem.*, 47(1), 391-402. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1007/s10910-009-9582-9" 10.1007/s10910-009-9582-9
- Guseinov, II. 2011.** Unified treatment of complex and real rotation-angular functions for two-center overlap integrals over arbitrary atomic orbitals. *J. Math. Chem.*, 49(5), 1011-1013. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1007/s10910-010-9792-1" 10.1007/s10910-010-9792-1
- Guseinov, II. 2012.** New Complete Orthonormal Basis Sets of Relativistic Exponential Type Spinor Orbitals and Slater Spinor Functions of Particles with Arbitrary Half-Integral Spin in Position, Momentum and Four-Dimensional Spaces. *arXiv*. HYPERLINK "https://arxiv.org/abs/1008.5267" https://arxiv.org/abs/1008.5267 adresinden alındı
- Guseinov, II., Aksu, H. 2008.** Ground State Energy Calculations of Isoelectronic Series of He in Double-Zeta Approximation Using Coulomb Potential with Noninteger Indices. *Chin. Phys. Lett.*, 25(3), 896-898. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1088/0256-307X/25/3/025" 10.1088/0256-307x/25/3/025
- Guseinov, II., Şahin, E., Ertürk, M. 2014.** An improvement on-exponential type orbitals for atoms in standard convention. *Mol. Phys.*, 112(1), 35-40. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1080/00268976.2013.795665" 10.1080/00268976.2013.795665

- Hartree, DR. 1928a.** The Wave Mechanics of an Atom with a Non-Coulomb Field. Part II. Some Results and Discussions. *Math. Proc. Camb. Philos. Soc.*, 24(1), 111-132. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1017/S0305004100011920" 10.1017/S0305004100011920
- Hartree, DR. 1928b.** The Wave Mechanics of an Atom with a Non-Coulomb Central Field. Part I. Theory and Methods. *Math. Proc. Camb. Philos. Soc.*, 24(1), 89-110. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1017/S0305004100011919" 10.1017/S0305004100011919
- Hetherington, JH. 1984.** Observations on the statistical iteration of matrices. *Phys. Rev. A*, 30(5), 2713-2719. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRevA.30.2713" 10.1103/PhysRevA.30.2713
- Hohenberg, P., Kohn, W. 1964.** Inhomogeneous Electron Gas. *Phys. Rev.*, 136(3B), B864-B871. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRev.136.B864" 10.1103/PhysRev.136.B864
- Hylleraas, EA. 1929.** Neue Berechnung der Energie des Heliums im Grundzustande, sowie des tiefsten Terms von Ortho-Helium. *Z. Phys.*, 54(5), 347-366. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1007/BF01375457" 10.1007/BF01375457
- Ishikawa, Y., Baretty, R., Binning, RC. 1985.** Relativistic Gaussian basis set calculations on one-electron ions with a nucleus of finite extent. *Chem. Phys. Lett.*, 121(1), 130-133. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1016/0009-2614(85)87169-4" 10.1016/0009-2614(85)87169-4
- Kato, T. 1957.** On the eigenfunctions of many-particle systems in quantum mechanics. *Commun. Pure Appl. Math.*, 10(2), 151-177. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1002/cpa.3160100201" 10.1002/cpa.3160100201
- Korobov, VI. 2002.** Regular and singular integrals for relativistic and QED matrix elements of the Coulomb three-body problem, for an exponential basis set. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 35(8), 1959-1966. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1088/0953-4075/35/8/312" 10.1088/0953-4075/35/8/312
- Kutzelnigg, W. 2012.** Solved and unsolved problems in relativistic quantum chemistry. *Chem. Phys.*, 395, 16-34. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1016/j.chemphys.2011.06.001" 10.1016/j.chemphys.2011.06.001
- Lee, YS., McLean, AD. 1982.** Relativistic effects on Re and De in AgH and AuH from all-electron Dirac-Hartree-Fock calculations. *J. Chem. Phys.*, 76(1), 735-736. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1063/1.442680" 10.1063/1.442680
- Löwdin, PO., Shull, H. 1956.** Natural orbitals in the quantum theory of two-electron systems. *Phys. Rev.*, 101(6), 1730-1739. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRev.101.1730" 10.1103/PhysRev.101.1730
- Niederle, J., Nikitin, AG. 2006.** The relativistic Coulomb problem for particles with arbitrary half-integer spin. *J. Phys. A: Math. Gen.*, 39(33), 10931-10944. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1088/0305-4470/39/34/023" 10.1088/0305-4470/39/34/023
- Pachucki, K. 2010.** Born-Oppenheimer potential for H₂. *Phys. Rev. A*, 82(3), 032509. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRevA.82.032509" 10.1103/PhysRevA.82.032509
- Pachucki, K. 2012a.** Born-Oppenheimer potential for HeH⁺. *Phys. Rev. A*, 85(4), 042511. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRevA.85.042511" 10.1103/PhysRevA.85.042511
- Pachucki, K. 2012b.** Correlated exponential functions in high-precision calculations for diatomic molecules. *Phys. Rev. A*, 86(5), 052514. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRevA.86.052514" 10.1103/PhysRevA.86.052514
- Pachucki, K. 2013.** Efficient approach to two-center exponential integrals with applications to excited states of molecular hydrogen. *Phys. Rev. A*, 88(2), 022507. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRevA.88.022507" 10.1103/PhysRevA.88.022507
- Pomeranchuk, IY., Smorodinsky, YA. 1945.** On energy levels in systems with $Z > 137$. *J. Phys. USSR*, 9(2), 97-100.
- Pople, JA., Beveridge, DL. 1970.** *Approximate Molecular Orbital Theory*. New York, USA: Mc-Graw Hill.
- Puchalski, M., Pachucki, K. 2006.** Ground-state wave function and energy of the lithium atom. *Phys. Rev. A*, 73(2), 022503. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRevA.73.022503" 10.1103/PhysRevA.73.022503
- Puchalski, M., Pachucki, K. 2008.** Relativistic, QED, and finite nuclear mass corrections for low-lying states of Li and Be⁺. *Phys. Rev. A*, 78(5), 052511. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRevA.78.052511" 10.1103/PhysRevA.78.052511
- Puchalski, M., Kędziera, D., Pachucki, K. 2010.** Ionization potential for excited S states of the lithium atom. *Phys. Rev. A*, 82(6), 062509. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1103/PhysRevA.82.062509" 10.1103/PhysRevA.82.062509
- Reinhardt, P., Hoggan, PE. 2009.** Cusps and derivatives for wave-functions expanded in Slater orbitals: A density study. *Int. J. Quant. Chem.*, 109(14), 3191-3198. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1002/qua.22156" 10.1002/qua.22156
- Rico, JF., López, R., Aguado, A., Ema, I., Ramirez, G. 2001.** New program for molecular calculations with Slater-type orbitals. *Int. J. Quant. Chem.*, 81(2), 148-153. Doi: HYPERLINK "https://doi.org/10.1002/1097-461X(2001)81:2%3c148::AID-QUA6%3e3.0.CO;2-0" 10.1002/1097-461X(2001)81:2<148::AID-QUA6>3.0.CO;2-0

- Roothaan, CC. 1951.** New Developments in Molecular Orbital Theory. *Rev. Mod. Phys.*, 23(2), 69-89. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1103/RevModPhys.23.69>” 10.1103/RevModPhys.23.69
- Ruiz, MB. 2004.** Hylleraas method for many-electron atoms. I. The Hamiltonian. *Int. J. Quant. Chem.*, 101(3), 246-260. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1002/qua.20197>” 10.1002/qua.20197
- Schwarz, WH., Wallmier, H. 1982.** Basis set expansions of relativistic molecular wave equations. *Mol. Phys.*, 46(5), 1045-1061. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1080/00268978200101771>” 10.1080/00268978200101771
- Shore, BW., Menzel, DH. 1968.** *Principles of Atomic Spectra*. New York, USA: Wiley.
- Shytov, AV., Katsnelson, MI., Levitov, LS. (2007).** Vacuum polarization and screening of supercritical impurities in graphene. *Phys. Rev. Lett.*, 99(23), 236801. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.99.236801>” 10.1103/PhysRevLett.99.236801
- Slater, JC. 1930a.** Note on Hartree’s Method. *Phys. Rev.*, 35(2), 210-211. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1103/PhysRev.35.210.2>” 10.1103/PhysRev.35.210.2
- Slater, JC. 1930b.** Atomic Shielding Constants. *Phys. Rev.*, 36(1), 57-64. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1103/PhysRev.36.57>” 10.1103/PhysRev.36.57
- Stanton, RE., Havriliak, S. 1984.** Kinetic balance: A partial solution to the problem of variational safety in Dirac calculations. *J. Chem. Phys.*, 81(4), 1910-1918. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1063/1.447865>” 10.1063/1.447865
- Szymkowski, R. 1997.** The Dirac-Coulomb Sturmians and the series expansion of the Dirac-Coulomb Green function: application to the relativistic polarizability of the hydrogen-like atom. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 30(4), 825-861. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1088/0953-4075/30/4/007>” 10.1088/0953-4075/30/4/007
- Talman, JD. 2004.** Overlap integrals for Dirac-Slater orbitals. *Int. J. Quant. Chem.*, 100(2), 109-113. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1002/qua.10819>” 10.1002/qua.10819
- Trivedi, HP., Steinborn, EO. 1982.** Numerical properties of a new translation formula for exponential-type functions and its application to one-electron multicenter integrals. *Phys. Rev. A*, 25(1), 113-127. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1103/PhysRevA.25.113>” 10.1103/PhysRevA.25.113
- Wang, LM., Yan, ZC., Qiao, HX., Drake, GW. 2011.** Variational upper bounds for low-lying states of lithium. *Phys. Rev. A*, 83(3), 034503. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1103/PhysRevA.83.034503>” 10.1103/PhysRevA.83.034503
- Wang, L., Li, C., Yan, ZC., Drake, GW. 2014.** Fine Structure and Ionization Energy of the $1s2s2p^4 P$ State of the Helium Negative Ion He^{-} . *Phys. Rev. Lett.*, 113(26), 263007. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.113.263007>” 10.1103/PhysRevLett.113.263007
- Weniger, EJ. 1985.** Weakly convergent expansions of a plane wave and their use in Fourier integrals. *J. Math. Phys.*, 26(2), 276-291. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1063/1.526970>” 10.1063/1.526970
- Wigner, EP. 1959.** *Group Theory and Its Application to the Quantum Mechanics of Atomic Spectra*. New York, USA: Academic Press.
- Yan, ZC., Drake, GW. 2002.** Lithium transition energies and isotope shifts: QED recoil corrections. *Phys. Rev. A*, 66(4), 042504. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1103/PhysRevA.66.042504>” 10.1103/PhysRevA.66.042504
- Yan, ZC., Drake, GW. 1995.** Eigenvalues and expectation values for the $1s^2 2s^2 S$, $1s^2 2p^2 P$, and $1s^2 3d^2 D$ states of lithium. *Phys. Rev. A*, 52(5), 3711-3717. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1103/PhysRevA.52.3711>” 10.1103/PhysRevA.52.3711
- Yan, ZC., Tambasco, M., Drake, GW. 1998.** Energies and oscillator strengths for lithiumlike ions. *Phys. Rev. A*, 57(3), 1652-1661. Doi: HYPERLINK “<https://doi.org/10.1103/PhysRevA.57.1652>” 10.1103/PhysRevA.57.1652
- Zeldovich, YB., Popov, VS. 1972.** Electronic structure of superheavy atoms. *Phys. Uspekhi*, 14(6), 673-694.



On Matrix Sequences of Narayana and Narayana-Lucas Numbers

Narayana ve Narayana-Lucas Sayılarının Matris Dizileri

Yüksel Soykan , Melih Göcen , Sedat Çevikel

Zonguldak Bülent Ecevit University, Art and Science Faculty, Department of Mathematics, Zonguldak, Turkey

Abstract

In this paper, Narayana and Narayana-Lucas matrix sequences are defined and their properties are investigated.

Keywords: Narayana numbers, Narayana sequence, Narayana matrix sequence, Narayana-Lucas matrix sequence.

Öz

Bu makalede, Narayana ve Narayana-Lucas matris dizileri tanımlandı ve özellikleri incelendi.

Anahtar Kelimeler: Narayana sayıları, Narayana dizisi, Narayana matris dizisi, Narayana-Lucas matris dizisi.

1. Introduction

In this paper, the matrix sequences of Narayana and Narayana-Lucas numbers were defined for the first time in the literature. Then, by giving the generating functions, the Binet formulas, and summation formulas over these new matrix sequences, we will obtain some fundamental properties on Narayana and Narayana-Lucas numbers. Also, we will present the relationship between these matrix sequences.

First, we give some background about Narayana and Narayana-Lucas numbers.

Narayana sequence $\{N_n\}_{n \geq 0}$ (sequence A000930 in Sloane, available: <http://oeis.org>) and Narayana-Lucas sequence $\{U_n\}_{n \geq 0}$ (sequence A001609 in Sloane, available: <http://oeis.org>) are defined, respectively, by the third-order recurrence relations

$$N_{n+3} = N_{n+2} + N_n, N_0 = 0, N_1 = 1, N_2 = 1, \quad (1)$$

$$U_{n+3} = U_{n+2} + U_n, U_0 = 3, U_1 = 1, U_2 = 1, \quad (2)$$

The sequences $\{N_n\}_{n \geq 0}, \{U_n\}_{n \geq 0}$ can be extended to negative subscripts by defining

$$N_{-n} = -N_{-(n-2)} + N_{-(n-3)},$$

$$U_{-n} = -U_{-(n-2)} + U_{-(n-3)},$$

for $n=1,2,3,\dots$ respectively. Therefore, recurrences (1) and (2) hold for all integer n . For more details on generalized Narayana numbers, see (Soykan 2020).

We can give some relations between $\{N_n\}$ and $\{U_n\}$ as

$$U_n = 3N_{n+4} - 5N_{n+3} + 2N_{n+2}, \quad (3)$$

$$U_n = -2N_{n+3} + 2N_{n+2} + 3N_{n+1}, \quad (4)$$

$$U_n = 3N_{n+1} - 2N_n, \quad (5)$$

$$U_n = N_n + 3N_{n-2}, \quad (6)$$

and

$$31N_n = -3U_{n+4} + U_{n+3} + 11U_{n+2}, \quad (7)$$

$$31N_n = -2U_{n+3} + 11U_{n+2} - 3U_{n+1}, \quad (8)$$

$$31N_n = 9U_{n+2} - 3U_{n+1} - 2U_n, \quad (9)$$

$$31N_n = 6U_{n+1} - 2U_n + 9U_{n-1}, \quad (10)$$

$$31N_n = 4U_n + 9U_{n-1} + 6U_{n-2}. \quad (11)$$

Note that all the above identities hold for all integers n (for more details, see Soykan 2020)). Next, we present the first few values of the Narayana and Narayana-Lucas numbers with positive and negative subscripts:

*Corresponding author: gocenm@hotmail.com

Yüksel Soykan orcid.org/0000-0002-1895-211X

Melih Göcen orcid.org/0000-0001-8669-6122

Sedat Çevikel orcid.org/0000-0002-1716-6256

Table 1. A few values of the Narayana and Narayana-Lucas numbers

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
N_n	0	1	1	1	2	3	4	6	9	13	19	28	41	60
N_{-n}		0	1	0	-1	1	1	-2	0	3	-2	-3	5	1
U_n	3	1	1	4	5	6	10	15	21	31	46	67	98	144
U_{-n}		0	-2	3	2	-5	1	7	-6	-6	13	0	-19	13

It is well known that (see for example (Soykan 2020)) for all integers n , usual Narayana and Narayana-Lucas numbers can be expressed using Binet’s formulas

$$N_n = \frac{\alpha^{n+1}}{(\alpha - \beta)(\alpha - \gamma)} + \frac{\beta^{n+1}}{(\beta - \alpha)(\beta - \gamma)} + \frac{\gamma^{n+1}}{(\gamma - \alpha)(\gamma - \beta)}, \tag{12}$$

$$U_n = \alpha^n + \beta^n + \gamma^n, \tag{13}$$

respectively, where, α, β and γ are the roots of the cubic equation $x^3 - x^2 - 1 = 0$. Moreover,

$$\alpha = \frac{1}{3} + \left(\frac{29}{54} + \sqrt{\frac{31}{108}}\right)^{\frac{1}{3}} + \left(\frac{29}{54} - \sqrt{\frac{31}{108}}\right)^{\frac{1}{3}},$$

$$\beta = \frac{1}{3} + \omega \left(\frac{29}{54} + \sqrt{\frac{31}{108}}\right)^{\frac{1}{3}} + \omega^2 \left(\frac{29}{54} - \sqrt{\frac{31}{108}}\right)^{\frac{1}{3}},$$

$$\gamma = \frac{1}{3} + \omega^2 \left(\frac{29}{54} + \sqrt{\frac{31}{108}}\right)^{\frac{1}{3}} + \omega \left(\frac{29}{54} - \sqrt{\frac{31}{108}}\right)^{\frac{1}{3}},$$

where

$$\omega = \frac{-1 + i\sqrt{3}}{2} = \exp\left(\frac{2\pi i}{3}\right).$$

Note that

$$\alpha + \beta + \gamma = 1, \alpha\beta + \alpha\gamma + \beta\gamma = 0, \alpha\beta\gamma = 1.$$

The generating functions for the Narayana sequence $\{N_n\}_{n \geq 0}$ and Narayana-Lucas sequence $\{U_n\}_{n \geq 0}$ are

$$\sum_{n=0}^{\infty} N_n x^n = \frac{x}{1 - x - x^3} \text{ and } \sum_{n=0}^{\infty} U_n x^n = \frac{3 - 2x}{1 - x - x^3}, \tag{14}$$

respectively.

2. The Matrix Sequences of Narayana and Narayana-Lucas Numbers

Recently, there have been so many studies of the sequences of numbers in the literature that concern about subsequences of the Horadan (Generalized Fibonacci) numbers and generalized Tribonacci numbers such as Fibonacci, Lucas, Pell and Jacobsthal numbers; third-order Pell, third-order Pell-Lucas, Padovan, Perrin, Padovan-Perrin, Narayana, third-order Jacobsthal-Lucas numbers. The sequences of numbers were widely used in many research areas, such as physics, engineering, architecture, nature and art. On

the other hand, the matrix sequences have taken so much interest for different type of numbers. We present some works on matrix sequences of the numbers in the following Table 2.

Table 2. A few special study on the matrix sequences of the number

Name of sequence	work on the matrix sequences of the numbers
Generalized Fibonacci	(Civciv and Turkmen 2008), (Civciv and Turkmen 2008a), (Gulec and Taskara 2012), (Uslu and Uygun 2013), (Uygun and Uslu 2016), (Uygun 2016), (Uygun 2019), (Yazlik et al. (2012), Wani et al. (2018)).
Generalized Tribonacci	(Cerde-Morales 2019), (Soykan 2020a), (Soykan 2020b), (Yilmaz and Taskara 2013), (Yilmaz and Taskara 2014).
Generalized Tetranacci	(Soykan 2019).

In this section we define Narayana and Narayana-Lucas matrix sequences and investigate their properties.

Definition 1. For any integer $n \geq 0$, the Narayana matrix (\mathcal{N}_n) and Narayana-Lucas matrix (\mathcal{U}_n) are defined by

$$\mathcal{N}_n = \mathcal{N}_{n-1} + \mathcal{N}_{n-3}, \tag{15}$$

$$\mathcal{U}_n = \mathcal{U}_{n-1} + \mathcal{U}_{n-3}, \tag{16}$$

respectively, with initial conditions

$$\mathcal{N}_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \mathcal{N}_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \mathcal{N}_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\mathcal{U}_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 3 \\ 3 & -2 & 0 \\ 0 & 3 & -2 \end{pmatrix}, \mathcal{U}_1 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 1 & 0 & 3 \\ 3 & -2 & 0 \end{pmatrix}, \mathcal{U}_2 = \begin{pmatrix} 4 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 1 \\ 1 & 0 & 3 \end{pmatrix}.$$

The sequences $\{\mathcal{N}_n\}_{n \geq 0}$ and $\{\mathcal{U}_n\}_{n \geq 0}$ can be extended to

negative subscripts by defining

$$N_{-n} = -N_{-(n-2)} + N_{-(n-3)}$$

and

$$U_{-n} = -U_{-(n-2)} + U_{-(n-3)}$$

for $n = 1, 2, 3, \dots$ respectively. Therefore, recurrences (15) and (16) hold for all integers n .

The following theorem gives the n th general terms of the Narayana and Narayana-Lucas matrix sequences.

Theorem 1. For any integer $n \geq 0$, we have the following formulas of the matrix sequences:

$$N_n = \begin{pmatrix} N_{n+1} & N_{n-1} & N_n \\ N_n & N_{n-2} & N_{n-1} \\ N_{n-1} & N_{n-3} & N_{n-2} \end{pmatrix}, \tag{17}$$

$$U_n = \begin{pmatrix} U_{n+1} & U_{n-1} & U_n \\ U_n & U_{n-2} & U_{n-1} \\ U_{n-1} & U_{n-3} & U_{n-2} \end{pmatrix}. \tag{18}$$

Proof. We prove (17) by strong mathematical induction on n . (18) can be proved similarly.

If $n = 0$ then, $N_0 = 0, N_1 = 1, N_2 = 1, N_{-1} = 0, N_{-2} = 1, N_{-3} = 0$, we have

$$N_0 = \begin{pmatrix} N_1 & N_{-1} & N_0 \\ N_0 & N_{-2} & N_{-1} \\ N_1 & N_{-3} & N_{-2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

which is true and

$$N_1 = \begin{pmatrix} N_2 & N_0 & N_1 \\ N_1 & N_{-1} & N_0 \\ N_0 & N_{-2} & N_{-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

which is true. Assume that the equality holds for $n \leq k$. For $n = k + 1$, we have $N_{k+1} = N_k + N_{k-2}$

$$\begin{aligned} &= \begin{pmatrix} N_{k+1} & N_{k-1} & N_k \\ N_k & N_{k-2} & N_{k-1} \\ N_{k-1} & N_{k-3} & N_{k-2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} N_{k-1} & N_{k-3} & N_{k-2} \\ N_{k-2} & N_{k-4} & N_{k-3} \\ N_{k-3} & N_{k-5} & N_{k-4} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} N_{k-1} + N_{k+1} & N_{k-1} + N_{k-3} & N_k + N_{k-2} \\ N_k + N_{k-2} & N_{k-2} + N_{k-4} & N_{k-1} + N_{k-3} \\ N_{k-1} + N_{k-3} & N_{k-3} + N_{k-5} & N_{k-2} + N_{k-4} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} N_{k+2} & N_k & N_{k+1} \\ N_{k+1} & N_{k-1} & N_k \\ N_k & N_{k-2} & N_{k-1} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} N_{k+1+1} & N_{k+1-1} & N_{k+1} \\ N_{k+1} & N_{k+1-2} & N_{k+1-1} \\ N_{k+1-1} & N_{k+1-3} & N_{k+1-2} \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Thus, by strong induction on $k + 1$, this proves (17).

We now give the Binet formulas for the Narayana and Narayana-Lucas matrix sequences.

Theorem 2. For every integer n , the Binet formulas of the Narayana and Narayana-Lucas matrix sequences are given by

$$N_n = A_1 \alpha^n + B_1 \beta^n + C_1 \gamma^n, \tag{19}$$

$$U_n = A_2 \alpha^n + B_2 \beta^n + C_2 \gamma^n. \tag{20}$$

where

$$A_1 = \frac{\alpha N_2 + \alpha(\alpha - 1)N_1 + N_0}{\alpha(\alpha - \gamma)(\alpha - \beta)},$$

$$B_1 = \frac{\beta N_2 + \beta(\beta - 1)N_1 + N_0}{\beta(\beta - \gamma)(\beta - \alpha)},$$

$$C_1 = \frac{\gamma N_2 + \gamma(\gamma - 1)N_1 + N_0}{\gamma(\gamma - \beta)(\gamma - \alpha)}$$

$$A_2 = \frac{\alpha U_2 + \alpha(\alpha - 1)U_1 + U_0}{\alpha(\alpha - \gamma)(\alpha - \beta)},$$

$$B_2 = \frac{\beta U_2 + \beta(\beta - 1)U_1 + U_0}{\beta(\beta - \gamma)(\beta - \alpha)},$$

$$C_2 = \frac{\gamma U_2 + \gamma(\gamma - 1)U_1 + U_0}{\gamma(\gamma - \beta)(\gamma - \alpha)}.$$

Proof. We need to prove the theorem only for $n \geq 0$. We prove (19). By the assumption, the characteristic equation of (15) is $x^3 - x^2 - 1 = 0$ and the roots of it are α, β and γ . So its general solution is given by

$$N_n = A_1 \alpha^n + B_1 \beta^n + C_1 \gamma^n.$$

Using initial condition which is given in Definition 1, and also applying linear algebra operations, we obtain the matrices A_1, B_1, C_1 as desired. This gives the formula for N_n .

Similarly we have the formula (20).

The well known Binet formulas for Narayana and Narayana-Lucas numbers are given in (12) and (13) respectively. But we will obtain these functions in terms of Narayana and Narayana-Lucas matrix sequences as a consequence of Theorems 1 and 2. To do this, we will give the formulas for these numbers by means of the related matrix sequences. In fact, in the proof of next corollary, we will just compare the linear combination of the 2nd row and 1st column entries of the matrices.

Corollary 1. For every integers n , the Binet's formulas for Narayana and Narayana-Lucas numbers are given as

$$N_n = \frac{\alpha^{n+1}}{(\alpha - \beta)(\alpha - \gamma)} + \frac{\beta^{n+1}}{(\beta - \alpha)(\beta - \gamma)} + \frac{\gamma^{n+1}}{(\gamma - \alpha)(\gamma - \beta)}, \quad \mathbf{U}_n = \begin{pmatrix} U_{n+1} & U_n + U_{n-1} & U_n \\ U_n & U_{n-1} + U_{n-2} & U_{n-1} \\ U_{n-1} & U_{n-2} + U_{n-3} & U_{n-2} \end{pmatrix}$$

$$U_n = \alpha^n + \beta^n + \gamma^n.$$

Proof. From Theorem 2, we have

$$\begin{aligned} N_n &= A_1 \alpha^n + B_1 \beta^n + C_1 \gamma^n \\ &= \frac{\alpha N_2 + \alpha(\alpha - 1)N_1 + N_0}{\alpha(\alpha - \gamma)(\alpha - \beta)} \alpha^n + \\ &\quad \frac{\beta N_2 + \beta(\beta - 1)N_1 + N_0}{\beta(\beta - \gamma)(\beta - \alpha)} \beta^n + \frac{\gamma N_2 + \gamma(\gamma - 1)N_1 + N_0}{\gamma(\gamma - \beta)(\gamma - \alpha)} \gamma^n \\ &= \frac{\alpha^{n-1}}{(\alpha - \gamma)(\alpha - \beta)} \begin{pmatrix} \alpha^2 + 1 & \alpha & \alpha^2 \\ \alpha^2 & 1 & \alpha \\ \alpha & \alpha(\alpha - 1) & 1 \end{pmatrix} \\ &\quad + \frac{\beta^{n-1}}{(\beta - \gamma)(\beta - \alpha)} \begin{pmatrix} \beta^2 + 1 & \beta & \beta^2 \\ \beta^2 & 1 & \beta \\ \beta & \beta(\beta - 1) & 1 \end{pmatrix} \\ &\quad + \frac{\gamma^{n-1}}{(\gamma - \beta)(\gamma - \alpha)} \begin{pmatrix} \gamma^2 + 1 & \gamma & \gamma^2 \\ \gamma^2 & 1 & \gamma \\ \gamma & \gamma(\gamma - 1) & 1 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

By Theorem 1, we know that

$$N_n = \begin{pmatrix} N_{n+1} & N_n + N_{n-1} & N_n \\ N_n & N_{n-1} + N_{n-2} & N_{n-1} \\ N_{n-1} & N_{n-2} + N_{n-3} & N_{n-2} \end{pmatrix}.$$

Now, if we compare the 2nd row and 1st column entries with the matrices in the above two equations, then we obtain

$$\begin{aligned} N_n &= \frac{\alpha^{n-1} \alpha^2}{(\alpha - \gamma)(\alpha - \beta)} + \frac{\beta^{n-1} \beta^2}{(\beta - \gamma)(\beta - \alpha)} + \frac{\gamma^{n-1} \gamma^2}{(\gamma - \beta)(\gamma - \alpha)} \\ &= \frac{\alpha^{n+1}}{(\alpha - \gamma)(\alpha - \beta)} + \frac{\beta^{n+1}}{(\beta - \gamma)(\beta - \alpha)} + \frac{\gamma^{n+1}}{(\gamma - \beta)(\gamma - \alpha)}. \end{aligned}$$

From Theorem 2, we obtain

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_n &= A_2 \alpha^n + B_2 \beta^n + C_2 \gamma^n \\ &= \frac{\alpha \mathbf{U}_2 + \alpha(\alpha - 1) \mathbf{U}_1 + \mathbf{U}_0}{\alpha(\alpha - \gamma)(\alpha - \beta)} \alpha^n \\ &\quad + \frac{\beta \mathbf{U}_2 + \beta(\beta - 1) \mathbf{U}_1 + \mathbf{U}_0}{\beta(\beta - \gamma)(\beta - \alpha)} \beta^n \\ &\quad + \frac{\gamma \mathbf{U}_2 + \gamma(\gamma - 1) \mathbf{U}_1 + \mathbf{U}_0}{\gamma(\gamma - \beta)(\gamma - \alpha)} \gamma^n \\ &= \frac{\alpha^{n-1}}{(\alpha - \gamma)(\alpha - \beta)} \begin{pmatrix} \alpha^2 + 3\alpha + 1 & \alpha(3\alpha - 2) & \alpha^2 + 3 \\ \alpha^2 + 3 & 3\alpha - 2 & \alpha(3\alpha - 2) \\ \alpha(3\alpha - 2) & -2\alpha^2 + 2\alpha + 3 & 3\alpha - 2 \end{pmatrix} \\ &\quad + \frac{\beta^{n-1}}{(\beta - \gamma)(\beta - \alpha)} \begin{pmatrix} \beta^2 + 3\beta + 1 & \beta(3\beta - 2) & \beta^2 + 3 \\ \beta^2 + 3 & 3\beta - 2 & \beta(3\beta - 2) \\ \beta(3\beta - 2) & -2\beta^2 + 2\beta + 3 & 3\beta - 2 \end{pmatrix} \\ &\quad + \frac{\gamma^{n-1}}{(\gamma - \beta)(\gamma - \alpha)} \begin{pmatrix} \gamma^2 + 3\gamma + 1 & \gamma(3\gamma - 2) & \gamma^2 + 3 \\ \gamma^2 + 3 & 3\gamma - 2 & \gamma(3\gamma - 2) \\ \gamma(3\gamma - 2) & -2\gamma^2 + 2\gamma + 3 & 3\gamma - 2 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

By Theorem 1, we know that

Now, if we compare the 2nd row and 1st column entries with the matrices in the above last two equations, then we obtain

$$U_n = \frac{\alpha^{n-1}(\alpha^2 + 3)}{(\alpha - \gamma)(\alpha - \beta)} + \frac{\beta^{n-1}(\beta^2 + 3)}{(\beta - \gamma)(\beta - \alpha)} + \frac{\gamma^{n-1}(\gamma^2 + 3)}{(\gamma - \beta)(\gamma - \alpha)}.$$

Using the relations, $\alpha + \beta + \gamma = 1, \alpha\beta\gamma = 1$ and considering α, β and γ are the roots the equation $x^3 - x^2 - 1 = 0$, we obtain

$$\begin{aligned} \frac{\alpha^2 + 3}{(\alpha - \gamma)(\alpha - \beta)} &= \frac{\alpha^2 + 3}{(\alpha^2 - \alpha\beta - \alpha\gamma + \beta\gamma)} \\ &= \frac{\alpha}{\alpha} \frac{(\alpha^2 + 3)}{\alpha^2 + \alpha(-\beta - \gamma) + \beta\gamma} = \frac{(\alpha^2 + 3)\alpha}{\alpha^3 + \alpha^2(\alpha - 1) + 1} \\ &= \frac{(\alpha^2 + 3)\alpha}{2\alpha^3 - \alpha^2 + 1} = \frac{(\alpha^2 + 3)\alpha}{2(\alpha^2 + 1) - \alpha^2 + 1} = \frac{(\alpha^2 + 3)\alpha}{\alpha^2 + 3} = \alpha, \\ \frac{\beta^2 + 3}{(\beta - \gamma)(\beta - \alpha)} &= \beta, \\ \frac{\gamma^2 + 3}{(\gamma - \beta)(\gamma - \alpha)} &= \gamma. \end{aligned}$$

So, we conclude that

$$U_n = \alpha^n + \beta^n + \gamma^n$$

as required.

Now, we present summation formulas for Narayana and Narayana-Lucas matrix sequences.

Theorem 3. For all m, j we have

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{n-1} N_{mk+j} &= \frac{N_{mn+m+j} + N_{mn-m+j} + (1 - U_m)N_{mn+j} - N_{m+j} - N_{j-m} + (U_m - 1)N_j}{U_m + (1 - U_m) - 1} \end{aligned} \tag{21}$$

and

$$\sum_{k=0}^{n-1} \mathbf{U}_{mk+j} = \frac{\mathbf{U}_{mn+m+j} + \mathbf{U}_{mn-m+j} + (1 - U_m)\mathbf{U}_{mn+j} - \mathbf{U}_{m+j} - \mathbf{U}_{j-m} + (U_m - 1)\mathbf{U}_j}{U_m + (1 - U_m) - 1}. \tag{22}$$

Proof. Note that

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{n-1} N_{mi+j} &= \sum_{i=0}^{n-1} (A_1 \alpha^{mi+j} + B_1 \beta^{mi+j} + C_1 \gamma^{mi+j}) \\ &= A_1 \alpha^j \left(\frac{\alpha^{mn} - 1}{\alpha^m - 1} \right) + B_1 \beta^j \left(\frac{\beta^{mn} - 1}{\beta^m - 1} \right) + C_1 \gamma^j \left(\frac{\gamma^{mn} - 1}{\gamma^m - 1} \right) \end{aligned}$$

and

$$\sum_{i=0}^{n-1} \mathcal{U}_{mi+j} = \sum_{i=0}^{n-1} (A_2 \alpha^{mi+j} + B_2 \beta^{mi+j} + C_2 \gamma^{mi+j})$$

$$= A_2 \alpha^j \left(\frac{\alpha^{m(n-1)} - 1}{\alpha^m - 1} \right) + B_2 \beta^j \left(\frac{\beta^{m(n-1)} - 1}{\beta^m - 1} \right) + C_2 \gamma^j \left(\frac{\gamma^{m(n-1)} - 1}{\gamma^m - 1} \right).$$

Simplifying and rearranging the last equalities in the last two expression imply (21) and (22) as required.

As in Corollary 1, in the proof of next Corollary, we just compare the linear combination of the 2nd row and 1st column entries of the relevant matrices.

Corollary 2. For all m, j we have

$$\sum_{k=0}^{n-1} N_{mk+j} = \frac{N_{mn+m+j} + N_{mn-m+j} + (1 + U_m)N_{mn+j} - N_{m+j} - N_{j-m} + (U_m - 1)N_j}{U_m + (1 - U_{-m}) - 1},$$

$$\sum_{k=0}^{n-1} U_{mk+j} = \frac{U_{mn+m+j} + U_{mn-m+j} + (1 + U_m)U_{mn+j} - U_{m+j} - U_{j-m} + (U_m - 1)U_j}{U_m + (1 - U_{-m}) - 1}.$$

Note that using the above Corollary we obtain the following well known formulas (taking $m = 1, j = 0$):

$$\sum_{k=0}^{n-1} N_k = N_{n+1} + N_{n-1} - 1 \text{ and } \sum_{k=0}^{n-1} U_k = U_{n+1} + U_{n-1} - 1.$$

We now give generating functions of \mathcal{N} and \mathcal{U} .

Theorem 4. The generating function for the Narayana and Narayana-Lucas matrix sequences are given as

$$\sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n = \frac{1}{1 - x - x^3} \begin{pmatrix} 1 & x^2 & x \\ x & 1 - x & x^2 \\ x^2 & x - x^2 & 1 - x \end{pmatrix}$$

and

$$\sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{U}_n \mathcal{X}^n = \frac{1}{1 - x - x^3} \begin{pmatrix} 3x^2 + 1 & 3x - 2x^2 & 3 - 2x \\ 3 - 2x & 3x^2 + 2x - 2 & 3x - 2x^2 \\ 3x - 2x^2 & 2x^2 - 5x + 3 & 3x^2 + 2x - 2 \end{pmatrix}$$

respectively.

Proof. We prove the Narayana case. Suppose that $g(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n$ is the generating function for the sequence $\{\mathcal{N}_n\}_{n \geq 0}$. Using the definition of the matrix sequence of Narayana numbers (15), and subtracting $x \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n$ and $x^3 \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n$ from $\sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n$ we obtain

$$(1 - x - x^3) \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n = \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n - x \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n - x^3 \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n - \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^{n+1} - \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^{n+3}$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n - \sum_{n=1}^{\infty} \mathcal{N}_{n-1} \mathcal{X}^n - \sum_{n=3}^{\infty} \mathcal{N}_{n-3} \mathcal{X}^n$$

$$= (\mathcal{N}_0 + \mathcal{N}_1 x + \mathcal{N}_2 x^2) - (\mathcal{N}_0 x + \mathcal{N}_1 x^2)$$

$$+ \sum_{n=3}^{\infty} (\mathcal{N}_n + \mathcal{N}_{n-1} - \mathcal{N}_{n-3}) \mathcal{X}^n$$

$$= \mathcal{N}_0 + \mathcal{N}_1 x + \mathcal{N}_2 x^2 - \mathcal{N}_0 x - \mathcal{N}_1 x^2$$

$$= \mathcal{N}_0 + (\mathcal{N}_1 - \mathcal{N}_0) x + (\mathcal{N}_2 - \mathcal{N}_1) x^2.$$

Rearranging above equation, we obtain

$$\sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n = \frac{\mathcal{N}_0 + (\mathcal{N}_1 - \mathcal{N}_0) x + (\mathcal{N}_2 - \mathcal{N}_1) x^2}{1 - x - x^3}$$

which equals the $\sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n$ in the Theorem. This completes the proof.

Narayana-Lucas case can be proved similarly.

The well known generating functions for Narayana and Narayana-Lucas numbers are as in (14). However, we will obtain these functions in terms of Narayana and Narayana-Lucas matrix sequences as a consequence of Theorem 4. To do this, we will again compare the 2nd row and 1st column entries with the matrices in Theorem 4. Thus we have the following corollary.

Corollary 3. The generating functions for the Narayana sequence $\{\mathcal{N}_n\}_{n \geq 0}$ and Narayana-Lucas sequence $\{\mathcal{U}_n\}_{n \geq 0}$ are given as

$$\sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{N}_n \mathcal{X}^n = \frac{x}{1 - x - x^3} \text{ and } \sum_{n=0}^{\infty} \mathcal{U}_n \mathcal{X}^n = \frac{3 - 2x}{1 - x - x^3}$$

respectively.

3. Relation Between Narayana and Narayana-Lucas Matrix Sequences

The following theorem shows that there always exist interrelation between Narayana and Narayana-Lucas matrix sequences.

Theorem 5. For the matrix sequences $\{\mathcal{N}_n\}$ and $\{\mathcal{U}_n\}$, we have the following identities.

- (a): $\mathcal{U}_n = 3\mathcal{N}_{n+4} - 5\mathcal{N}_{n+3} + 2\mathcal{N}_{n+2}$.
- (b): $\mathcal{U}_n = -2\mathcal{N}_{n+3} + 2\mathcal{N}_{n+2} + 3\mathcal{N}_{n+1}$.
- (c): $\mathcal{U}_n = 3\mathcal{N}_{n+1} - 2\mathcal{N}_n$.
- (d): $\mathcal{U}_n = \mathcal{N}_n + 3\mathcal{N}_{n-2}$.
- (e): $31\mathcal{N}_n = -3\mathcal{U}_{n+4} + \mathcal{U}_{n+3} + 11\mathcal{U}_{n+2}$.
- (f): $31\mathcal{N}_n = -2\mathcal{U}_{n+3} + 11\mathcal{U}_{n+2} - 3\mathcal{U}_{n+1}$.
- (g): $31\mathcal{N}_n = 9\mathcal{U}_{n+2} - 3\mathcal{U}_{n+1} - 2\mathcal{U}_n$.
- (h): $31\mathcal{N}_n = 6\mathcal{U}_{n+1} - 2\mathcal{U}_n + 9\mathcal{U}_{n-1}$.
- (i): $31\mathcal{N}_n = 4\mathcal{U}_n + 9\mathcal{U}_{n-1} + 6\mathcal{U}_{n-2}$.

Proof. From (3)-(6) and (7)-(11), (a)-(i) follow.

Lemma 1. For all non-negative integers m and n , we have the following identities.

(a): $\mathcal{U}_0 \mathcal{N}_n = \mathcal{N}_n \mathcal{U}_0 = \mathcal{U}_n$,

(b): $\mathcal{N}_0 \mathcal{U}_n = \mathcal{U}_n \mathcal{N}_0 = \mathcal{U}_n$.

Proof. Identities can be established easily. Note that to show (a) we need to use the relations (3)-(6).

To prove the following Theorem we need the next Lemma.

Lemma 2. Let $A_1, B_1, C_1; A_2, B_2, C_2$ as in Theorem 2. Then the following relations hold:

$$A_1^2 = A_1, B_1^2 = B_1, C_1^2 = C_1,$$

$$A_1 B_1 = B_1 A_1 = A_1 C_1 = C_1 A_1 = C_1 B_1 = B_1 C_1 = (0),$$

$$A_2 B_2 = B_2 A_2 = A_2 C_2 = C_2 A_2 = C_2 B_2 = B_2 C_2 = (0).$$

Proof. Using $\alpha + \beta + \gamma = 1, \alpha\beta + \alpha\gamma + \beta\gamma = 0$ and $\alpha\beta\gamma = 1$, required equalities can be established by matrix calculations.

Theorem 6. For all non-negative integers m and n , we have the following identities.

(a): $\mathcal{N}_m \mathcal{N}_n = \mathcal{N}_{m+n} = \mathcal{N}_n \mathcal{N}_m$.

(b): $\mathcal{N}_m \mathcal{U}_n = \mathcal{U}_n \mathcal{N}_m = \mathcal{U}_{m+n}$.

(c): $\mathcal{U}_m \mathcal{U}_n = \mathcal{U}_n \mathcal{U}_m = 9\mathcal{N}_{m+n+8} - 30\mathcal{N}_{m+n+7} + 37\mathcal{N}_{m+n+6} - 20\mathcal{N}_{m+n+5} + 4\mathcal{N}_{m+n+4}$.

(d): $\mathcal{U}_m \mathcal{U}_n = \mathcal{U}_n \mathcal{U}_m = 4\mathcal{N}_{m+n+6} - 8\mathcal{N}_{m+n+5} - 8\mathcal{N}_{m+n+4} + 12\mathcal{N}_{m+n+3} + 9\mathcal{N}_{m+n+2}$.

(e): $\mathcal{U}_m \mathcal{U}_n = \mathcal{U}_n \mathcal{U}_m = 9\mathcal{N}_{m+n+2} - 12\mathcal{N}_{m+n+1} + 4\mathcal{N}_{m+n}$.

(f): $\mathcal{U}_m \mathcal{U}_n = \mathcal{U}_n \mathcal{U}_m = \mathcal{N}_{m+n} + 6\mathcal{N}_{m+n-2} + 9\mathcal{N}_{m+n-4}$.

Proof.

(a): Using Lemma 2. we obtain

$$\begin{aligned} \mathcal{N}_m \mathcal{N}_n &= (A_1 \alpha^m + B_1 \beta^m + C_1 \gamma^m)(A_1 \alpha^n + B_1 \beta^n + C_1 \gamma^n) \\ &= A_1^2 \alpha^{m+n} + B_1^2 \beta^{m+n} + C_1^2 \gamma^{m+n} + A_1 B_1 \alpha^m \beta^n \\ &\quad + B_1 A_1 \alpha^n \beta^m + A_1 C_1 \alpha^m \gamma^n + C_1 A_1 \alpha^n \gamma^m + B_1 C_1 \beta^m \gamma^n \\ &\quad + C_1 B_1 \beta^n \gamma^m = A_1 \alpha^{m+n} + B_1 \beta^{m+n} + C_1 \gamma^{m+n} = \mathcal{N}_{m+n}. \end{aligned}$$

(b): By Lemma 1, we have

$$\mathcal{N}_m \mathcal{U}_n = \mathcal{N}_m \mathcal{N}_n \mathcal{U}_0.$$

Now from (a) and again by Lemma 1. we obtain

$$\mathcal{N}_m \mathcal{U}_n = \mathcal{N}_{m+n} \mathcal{U}_0 = \mathcal{U}_{m+n}.$$

It can be shown similarly that $\mathcal{U}_n \mathcal{N}_m = \mathcal{U}_{m+n}$.

(c): Using (a) and Theorem 5 (a) we obtain

$$\begin{aligned} \mathcal{U}_m \mathcal{U}_n &= (3\mathcal{N}_{m+4} - 5\mathcal{N}_{m+3} + 2\mathcal{N}_{m+2})(3\mathcal{N}_{n+4} - 5\mathcal{N}_{n+3} + 2\mathcal{N}_{n+2}) \\ &= 9\mathcal{N}_{m+4}\mathcal{N}_{n+4} - 15\mathcal{N}_{m+3}\mathcal{N}_{n+4} - 15\mathcal{N}_{m+4}\mathcal{N}_{n+3} + 25\mathcal{N}_{m+3}\mathcal{N}_{n+3} \\ &\quad + 6\mathcal{N}_{m+2}\mathcal{N}_{n+4} + 6\mathcal{N}_{m+4}\mathcal{N}_{n+2} - 10\mathcal{N}_{m+2}\mathcal{N}_{n+3} - 10\mathcal{N}_{m+3}\mathcal{N}_{n+2} \\ &\quad + 4\mathcal{N}_{m+2}\mathcal{N}_{n+2} = 9\mathcal{N}_{m+n+8} - 15\mathcal{N}_{m+n+7} - 15\mathcal{N}_{m+n+7} + 25\mathcal{N}_{m+n+6} \\ &\quad + 6\mathcal{N}_{m+n+6} + 6\mathcal{N}_{m+n+6} - 10\mathcal{N}_{m+n+5} - 10\mathcal{N}_{m+n+5} + 4\mathcal{N}_{m+n+4} \\ &= 9\mathcal{N}_{m+n+8} - 30\mathcal{N}_{m+n+7} + 37\mathcal{N}_{m+n+6} - 20\mathcal{N}_{m+n+5} + 4\mathcal{N}_{m+n+4}. \end{aligned}$$

It can be shown similarly that

$$\mathcal{U}_n \mathcal{U}_m = 9\mathcal{N}_{m+n+8} - 30\mathcal{N}_{m+n+7} + 37\mathcal{N}_{m+n+6} - 20\mathcal{N}_{m+n+5} + 4\mathcal{N}_{m+n+4}.$$

The remaining of identities can be proved by considering again (a) and Theorem 5. Comparing matrix entries and using Theorem 1 we have next result.

Corollary 4. For Narayana and Narayana-Lucas numbers, we have the following identities:

(a): $\mathcal{N}_{m+n} = \mathcal{N}_m \mathcal{N}_{n+1} + \mathcal{N}_{m-1} \mathcal{N}_{n-1} + \mathcal{N}_{m-2} \mathcal{N}_n$.

(b): $\mathcal{U}_{m+n} = \mathcal{U}_m \mathcal{U}_{n+1} + \mathcal{U}_{m-1} \mathcal{U}_{n-1} + \mathcal{U}_{m-2} \mathcal{U}_n$.

(c): $\mathcal{U}_m \mathcal{U}_{n+1} + \mathcal{U}_{m-1} \mathcal{U}_{n-1} + \mathcal{U}_{m-2} \mathcal{U}_n = 9\mathcal{N}_{m+n+8} - 30\mathcal{N}_{m+n+7} + 37\mathcal{N}_{m+n+6} - 20\mathcal{N}_{m+n+5} + 4\mathcal{N}_{m+n+4}$.

(d): $\mathcal{U}_m \mathcal{U}_{n+1} + \mathcal{U}_{m-1} \mathcal{U}_{n-1} + \mathcal{U}_{m-2} \mathcal{U}_n = 4\mathcal{N}_{m+n+6} - 8\mathcal{N}_{m+n+5} - 8\mathcal{N}_{m+n+4} + 12\mathcal{N}_{m+n+3} + 9\mathcal{N}_{m+n+2}$.

(e): $\mathcal{U}_m \mathcal{U}_{n+1} + \mathcal{U}_{m-1} \mathcal{U}_{n-1} + \mathcal{U}_{m-2} \mathcal{U}_n = 9\mathcal{N}_{m+n+2} - 12\mathcal{N}_{m+n+1} + 4\mathcal{N}_{m+n}$.

(f): $\mathcal{U}_m \mathcal{U}_{n+1} + \mathcal{U}_{m-1} \mathcal{U}_{n-1} + \mathcal{U}_{m-2} \mathcal{U}_n = \mathcal{N}_{m+n} + 6\mathcal{N}_{m+n-2} + 9\mathcal{N}_{m+n-4}$.

Proof.

(a): From Theorem 6. we know that $\mathcal{N}_m \mathcal{N}_n = \mathcal{N}_{m+n}$. Using Theorem 1, we can write this result as

$$\begin{aligned} &\begin{pmatrix} \mathcal{N}_{m+1} & \mathcal{N}_{m-1} & \mathcal{N}_m \\ \mathcal{N}_m & \mathcal{N}_{m-2} & \mathcal{N}_{m-1} \\ \mathcal{N}_{m-1} & \mathcal{N}_{m-3} & \mathcal{N}_{m-2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathcal{N}_{n+1} & \mathcal{N}_{n-1} & \mathcal{N}_n \\ \mathcal{N}_n & \mathcal{N}_{n-2} & \mathcal{N}_{n-1} \\ \mathcal{N}_{n-1} & \mathcal{N}_{n-3} & \mathcal{N}_{n-2} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \mathcal{N}_{m+n+1} & \mathcal{N}_{m+n-1} & \mathcal{N}_{m+n} \\ \mathcal{N}_{m+n} & \mathcal{N}_{m+n-2} & \mathcal{N}_{m+n-1} \\ \mathcal{N}_{m+n-1} & \mathcal{N}_{m+n-3} & \mathcal{N}_{m+n-2} \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Now, by multiplying the left-side matrices and then by comparing the 2nd rows and 1st columns entries, we get the required identity in (a).

The remaining of identities can be proved by considering again Theorems 6 and 1.

The next two theorems provide us the convenience to obtain the powers of Narayana and Narayana-Lucas matrix sequences.

Theorem 7. For non-negative integers m, n and r with $n \geq r$, the following identities hold:

- (a): $N_n^m = N_{mn}$,
- (b): $N_{n+1}^m = N_1^m N_{mn}$,
- (c): $N_{n-r} N_{n+r} = N_n^2 = N_2^n$.

Proof.

(a): We can write N_n^m as

$$N_n^m = N_n N_n \dots N_n \text{ (} m \text{ times)}.$$

Using Theorem 6. (a) iteratively, we obtain the required result:

$$\begin{aligned} N_n^m &= \underbrace{N_n N_n \dots N_n}_{m \text{ times}} \\ &= N_{2n} \underbrace{N_n N_n \dots N_n}_{m-1 \text{ times}} \\ &= N_{3n} \underbrace{N_n N_n \dots N_n}_{m-2 \text{ times}} \\ &\vdots \\ &= N_{(m-1)n} N_n \\ &= N_{mn}. \end{aligned}$$

(b): As a similar approach in (a) we have

$$\begin{aligned} N_{n+1}^m &= N_{n+1} N_{n+1} \dots N_{n+1} = N_m N_{mn} \\ &= N_1 N_{m-1} N_{mn}. \end{aligned}$$

Using Theorem 6 (a), we can write iteratively

$$N_m = N_1 N_{m-1}, N_{m-1} = N_1 N_{m-2}, \dots, N_2 = N_1 N_1.$$

Now it follows that

$$N_{n+1}^m = \underbrace{N_1 N_1 \dots N_1}_{m \text{ times}} N_{mn} = N_1^m N_{mn}.$$

(c): Theorem 6 (a) gives

$$N_{n-r} N_{n+r} = N_{2n} = N_n N_n = N_n^2$$

and also

$$N_{n-r} N_{n+r} = N_{2n} = \underbrace{N_2 N_2 \dots N_2}_{n \text{ times}} = N_2^n.$$

We have analogous results for the matrix sequence U_n .

Theorem 8. For non-negative integers m, n and r with $n \geq r$, the following identities hold:

- (a): $U_{n-r} U_{n+r} = U_n^2$,
- (b): $U_n^m = U_0^m N_{mn}$.

Proof.

(a): We use Binet’s formula of Narayana and Narayana-Lucas matrix sequence which is given in Theorem 2. So

$$\begin{aligned} U_{n-r} U_{n+r} - U_n^2 &= (A_2 \alpha^{n-r} + B_2 \beta^{n-1} + C_2 \gamma^{n-r})(A_2 \alpha^{n+r} + B_2 \beta^{n+1} + C_2 \gamma^{n+r}) \\ &\quad - (A_2 \alpha^n + B_2 \beta^n + C_2 \gamma^n)^2 \\ &= A_2 B_2 \alpha^{n-r} \beta^{n-r} (\alpha^r - \beta^r)^2 + A_2 C_2 \alpha^{n-r} \gamma^{n-r} (\alpha^r - \gamma^r)^2 \\ &\quad + B_2 C_2 \beta^{n-r} \gamma^{n-r} (\beta^r - \gamma^r)^2 = 0 \end{aligned}$$

since $A_2 B_2 = A_2 C_2 = C_2 B_2$ (see Lemma 3). Now we get the result as required.

(b): By Theorem 8, we have

$$U_0^m N_{mn} = \underbrace{U_0 U_0 \dots U_0}_{m \text{ times}} \cdot \underbrace{N_0 N_0 \dots N_0}_{m \text{ times}}.$$

When we apply Lemma 2 (a) iteratively, it follows that

$$\begin{aligned} U_0^m N_{mn} &= (U_0 N_n)(U_0 N_n) \dots (U_0 N_n) \\ &= U_n U_n \dots U_n = U_n^m. \end{aligned}$$

This completes the proof.

4. References

Cerda-Morales, G., 2019. On the Third-Order Jacobsthal and Third-Order Jacobsthal-Lucas Sequences and Their Matrix Representations. *Mediterranean Journal of Mathematics*, 16: 1-12, <https://doi.org/10.1007/s00009-019-1319-9>.

Civciv, H., Turkmen, R., 2008. On the (s; t)-Fibonacci and Fibonacci matrix sequences. *Ars Combin.* 87: 161-173.

Civciv, H., Turkmen, R., 2008a. Notes on the (s; t)-Lucas and Lucas matrix sequences. *Ars Combin.* 89: 271-285.

Gulec, H. H., Taskara, N., 2012. On the (s; t)-Pell and (s; t)-Pell-Lucas sequences and their matrix representation. *Appl. Math. Lett.* 25: 1554-1559, doi.org/10.1016/j.aml.2012.01.014.

Sloane, N. J. A., The on-line encyclopedia of integer sequences. available: <http://oeis.org/>

Soykan, Y., 2019. Matrix Sequences of Tetranacci and Tetranacci-Lucas Numbers. *Int. J. Adv. Appl. Math. and Mech.* 7 (2): 57-69, (ISSN: 2347-2529).

Soykan Y., 2020. On Generalized Narayana Numbers. *Int. J. Adv. Appl. Math. and Mech.* 7(3): 43-56, (ISSN: 2347-2529).

Soykan, Y., 2020a. Matrix Sequences of Tribonacci and Tribonacci-Lucas Numbers. *Communications in Mathematics and Applications*, 11(2): 281-295, doi: 10.26713/cma.v11i2.1102

Soykan, Y., 2020b. Tribonacci and Tribonacci-Lucas Matrix Sequences with Negative Subscripts. *Communications in Mathematics and Applications*, 11 (1): 141159, doi: 10.26713/cma.v11i1.1103.

- Uslu, K., Uygun, S., 2013.** On the (s,t) Jacobsthal and (s,t) Jacobsthal-Lucas Matrix Sequences. *Ars Combin.* 108: 13-22.
- Uygun, Ş., Uslu, K., 2016.** The (s,t) -Generalized Jacobsthal Matrix Sequences. In: Anastassiou G., Duman O. (eds) Computational Analysis. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, vol 155. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28443-9_23.
- Uygun, Ş., 2016.** Some Sum Formulas of (s,t) -Jacobsthal and (s,t) -Jacobsthal Lucas Matrix Sequences. *Applied Mathematics*, 7: 61-69, <http://dx.doi.org/10.4236/am.2016.71005>.
- Uygun, Ş., 2019.** The binomial transforms of the generalized (s,t) -Jacobsthal matrix sequence, *Int. J. Adv. Appl. Math. and Mech.* 6 (3): 14-20, (ISSN: 2347-2529).
- Yazlik, Y., Taskara, N., Uslu K., Yilmaz, N., 2012.** The generalized $(s; t)$ -sequence and its matrix sequence. *Am. Inst. Phys. (AIP) Conf. Proc.* 1389: 381-384, <https://doi.org/10.1063/1.3636742>.
- Yilmaz, N., Taskara, N., 2013.** Matrix Sequences in Terms of Padovan and Perrin Numbers. *Journal of Applied Mathematics*, 2013: 941673, 7, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/941673>.
- Yilmaz, N., Taskara, N., 2014.** On the Negatively Subscripted Padovan and Perrin Matrix Sequences. *Communications in Mathematics and Applications*, 5(2): 59-72, (ISSN 0975-8607).
- Wani, A. A., Badshah, V. H., and Rathore, G. B. S., 2018.** Generalized Fibonacci and k-Pell Matrix Sequences. *Punjab University J. of Mathematics*, 50(1): 68-79, (ISSN 1016-2526).

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)**

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)**