



MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ

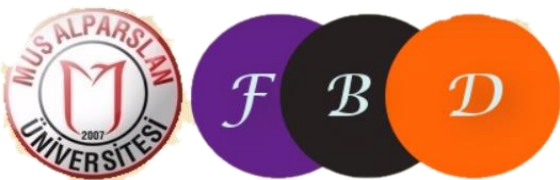
DERGİSİ

2019
Aralık
2 Cilt/7

*Muş Alparslan University Journal of Science * Published since 2013*

- ❖ Orta Anadolu Bölgesi (Türkiye) ve civarındaki güncel deprem aktivitesinin sismik durgunluk ve magnitüd-deprem sayısı istatistiği
Serkan ÖZTÜRK
- ❖ A High-Order Accurate Numerical Algorithm for the Numerical Solution of Burgers' Equation
Melis ZORŞAHİN GÖRGÜLÜ
- ❖ İki Ucu Ankastre U Çerçeve Yapının Modal Analizi
Mesut HÜSEYİNOĞLU, Tayfun ABUT
- ❖ Determination Of The Most Suitable Option For Production With Uncoated Papers In Offset Printing By Multi-Criteria Decision Making Method
Zafer ÖZOMAY, Cem AYDEMİR, Şükrü Cem ÖZAKHUN
- ❖ Structural and morphological properties of SnO₂:Sb:F thin films produced by spray pyrolysis technique at various substrate temperatures
Ahmet BATTAL, Bahattin DÜZGÜN
- ❖ The Effect of the Age in using the Brain-Machine Interface
Mehmet Eşref ALKIŞ, Hüseyin KOÇ
- ❖ Performance of the NeQuick 2 model during the geomagnetic storm
Selçuk SAĞIR, Ramazan ATICI
- ❖ Obezitenin Tedavisinde Geçmiş ve Güncel Bariatrik Cerrahi Uygulamaları
Şeyda GÜNGÖR

*Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi * 2013'den beri yayında*



<http://dergipark.gov.tr/msufbd>
e-ISSN:2149-6455



MSUFBD

**Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Mus Alparslan University Journal of Science**

YIL/YEAR: 2019 • CİLT/VOLUME: 7 • SAYI/NUMBER: 2

Yazılarda ifade edilen görüş ve düşünceler yazarlarının kişisel görüşleri olup derginin ve bağlı bulunduğu kurumun görüşlerini yansıtmaz.

The opinions and views expressed in papers published on the journal belong only to its author(s) and do not necessarily reflect the views of the journal and its publisher.



MSUFBD

Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Mus Alparslan University Journal of Science

Dağıtım

Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından yapılmaktadır.

ISSN	:	2147-7930
e-ISSN	:	2149-6455
Basım Tarihi	:	27/12/2019
Cilt	:	7
Sayı	:	2
İlk Yayın Tarihi	:	2013
Basım Yeri	:	Muş
Yayın Türü	:	Yılda iki defa olmak üzere altı ayda bir (Haziran ve Aralık) elektronik olarak yayımlanan uluslararası hakemli ve süreli yayındır.
Yayın Dili	:	Türkçe ve İngilizce'dir.
Adres	:	Muş Alparslan Üniversitesi Kampüsü, Fen Bilimler Enstitüsü, Diyarbakır Yolu 7. Km, 49250 – MUŞ / TÜRKİYE
e-posta	:	a.cetin@alparslan.edu.tr
URL	:	http://dergipark.gov.tr/msufbd

MSUFBD
Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Mus Alparslan University Journal of Science

Yıl/Year: 2019 • Cilt/Volume: 7 • Sayı/Number: 2

Yayın Kurulu • Editorial Board

Muş Alparslan Üniversitesi Adına	
Sahibi / Owner	Prof. Dr. Fethi Ahmet POLAT (Rektör) Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Baş Editör / Editor-in-Chief	Dr. Adnan ÇETİN Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Editörler/ Associate Editor	Doç. Dr. Sedat BOZARI Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Yayın Kurulu Üyeleri / Editorial Board Members	Prof. Dr. Murad Aydın ŞANDA Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
	Prof. Dr. Mahmoud ELAASSER Al-Azhar University / Egypt
	Prof. Dr. Sadulla JAFAROV Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
	Prof. Dr. Charis SEMİDALES University of Athena / Greek
	Prof. Dr. Nizameddin İSKENDEROV University of Baku State / Azerbaijan
	Prof. Dr. Vugar İSMAİLOV National Academy Of Sciences / Azerbaijan
	Doç. Dr. Wael Ibrahim Mostofa MORTADA Mansoura University / Egypt
	Prof. Dr. Esin KAYA Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
	Doç. Dr. Wasim Akhtar Jamia Hamdard University/ India
	Prof. Dr. Ercan BURSAL Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
	Dr. Derya YANMIŞ Giresun Üniversitesi/ Türkiye
	Dr. Öğr. Üyesi Harun ÖNLÜ Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
	Doç. Dr. Kenan YILDIRIM Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
	Dr. Ömer ARSLAN Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
	Dr. Garima Verma Jamia Hamdard University/ India
Sekreteryası / Secretariat	Arş. Gör. Emine ŞAHİN
Teknik Redaksiyon / Redaction	Arş. Gör. Tayfun ABUT
Grafik Tasarım / Design	Levent Günaydın

MSUFBD
Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Mus Alparslan University Journal of Science

Yıl: 2019 • Cilt: 7 • Sayı: 2

Amaç ve Kapsam

Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimler Dergisi, fen bilimler alanında özgün ve nitelikli çalışmalarını bilimsel bir yaklaşımla ele almak amacıyla yayımlanan uluslararası hakemli bir dergidir. Haziran ve Aralık sayısı olmak üzere yılda iki defa düzenli olarak yayımlanmaktadır.

Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimler Dergisinde yayımlanan yazıların bilimsel ve hukukî sorumluluğu, yazarlarına aittir. Yayımlanan yazıların bütün yayın hakları Muş Alparslan Üniversitesi'ne ait olup yayıncının izni olmadan kısmen veya tamamen elektronik ortama taşınmaz.

Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimler Dergisi fen bilimleri, temel bilimler, doğa bilimleri ve mühendislik alanları ile alakalı konularda özgün ve nitelikli bilimsel çalışmalar yer almaktadır. Dergide yayımlanan tüm makalelere DOI numarası atanmakta ve yayımlanan makaleler için herhangi bir ücret talep edilmemektedir.

Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimler Dergisi aşağıdaki indekslerce taranmaktadır:

- International Innovative Journal Impact Factor (IIJIF),
- Research Bible
- Scientific Indexing Service
- Infobase index
- DRJI (Directory of Research Journals Indexing)
- CrossRef DOI
- Academic keys
- COSMOS IF
- Eurasian Scientific Journal Index (ESJI)
- Index Copernicus
- National Science Digital Library
- CiteFactor

MSUFBD
Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Mus Alparslan University Journal of Science

Yıl/Year: 2019 • Cilt/Volume: 7 • Sayı/Number: 2

Aims and Scope

Mus Alparslan University Journal of Science is an international peer-reviewed journal that publishes original and qualified works with a scientific approach in the fields of sciences sciences. The Journal is published two times a year, in June and December by Mus Alparslan University.

Scientific and legal liabilities of the articles published in Mus Alparslan University Journal of Science belong to the authors. The copyrights of the works that are published in the journal are transferred to Mus Alparslan University. No part of this publication may be published elsewhere including electronically without permission of the Publisher.

Mus Alparslan University Journal of Science focuses on original and qualified scientific studies related to science, basic sciences, natural sciences and engineering fields. All articles published in our journals are open access and freely available online. DOI number is assigned to all the articles being published in the journal. The journal does not charge authors for any publication fee.

Mus Alparslan University Journal of Science is included in the following abstracting and indexing services:

- International Innovative Journal Impact Factor (IIJIF),
- Research Bible
- Scientific Indexing Sevice
- Infobase index
- DRJI (Directory of Research Journals Indexing)
- CrossRef DOI
- Academic keys
- COSMOS IF
- Eurasian Scientific Journal Index (ESJI)
- Index Copernicus
- National Science Digital Library
- CiteFactor

Danışma Kurulu

Prof. Dr. Erdal Necip YARDIM
Bitlis Üniversitesi / Türkiye
Prof. Dr. Murat AYDEMİR
Dicle Üniversitesi / Türkiye
Prof. Dr. Cemil TUNÇ
Yüzüncü Yıl Üniversitesi / Türkiye
Prof. Dr. Mehmet Serdar GÜLTEKİN
Atatürk Üniversitesi / Türkiye
Prof. Dr. Ekrem ATALAN
İnönü Üniversitesi / Türkiye
Prof. Dr. Refik ABDULLA
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Prof. Dr. Güleray AĞAR
Atatürk Üniversitesi / Türkiye
Prof. Dr. Esvet AKBAŞ
Yüzüncü Yıl Üniversitesi / Türkiye
Prof. Dr. Cevat SELAM
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Prof. Dr. Giray TOPAL
Atatürk Üniversitesi / Türkiye
Prof. Dr. İshak BİLDİRİCİ
Yüzüncü Yıl Üniversitesi / Türkiye
Doç. Dr. Arzu ALA GÖRMEZ
Atatürk Üniversitesi / Türkiye
Doç. Dr. Ersin KILINÇ
Mardin Artuklu Üniversitesi / Türkiye
Doç. Dr. Banu Bayram
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi / Türkiye
Doç. Dr. Cezmi KAYAN
Dicle Üniversitesi / Türkiye
Doç. Dr. Tarık ARAL
Batman Üniversitesi / Türkiye
Doç. Dr. Refik SAMET
Ankara Üniversitesi / Türkiye
Doç. Dr. Ekrem YILMAZ
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Doç. Dr. Talat KÖRPİNAR
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Fırat KURT
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Murat DEMİR
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Selçuk SAĞIR
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Zeynal TOPALCENNGİZ
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Erdal KORKMAZ
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Doç. Dr. Muhammed ÇINAR
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Adem KORKMAZ
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Ramazan ATICI
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye

Advisory Board

Prof. Dr. S. S. VOLOSIVETS
Saratov State University / Russia
Prof. Dr. Vladimir ANDRIEVSKI
Kent State University / USA
Prof. Dr. Ramazan MAMADOV
Pamukkale Üniversitesi / Türkiye
Prof. Dr. Daniyal ISRAFİLOV
Balıkesir Üniversitesi / Türkiye
Prof. Dr. Urfat NURİYEYEV
Ege Üniversitesi / Türkiye
Prof. Dr. Abdülvahabova SACİDE
University of Baku State / Azerbaijan
Prof. Dr. Goayev NİFTALİ
University of Baku State / Azerbaijan
Prof. Dr. Agamaliyev FARZALİ
University of Baku State / Azerbaijan
Prof. Dr. Harun POLAT
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Doç. Dr. Nevzat ESİM
Bingöl Üniversitesi / Türkiye
Dr. Tomasz JAROZS
Silesian University of Technology / Poland
Doç. Dr. Harun POLAT
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Santosh Kumar BHARDWAJ
Jiwaji University / India
Dr. Bamidele Joseph OKOLİ
Vaal University of Technology / South Africa
Dr. Marcelo MURGUİA
Universidad de Valencia/Spain
Dr. Muhsin İNCESU
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Murat SÜNKÜR
Batman Üniversitesi / Türkiye
Dr. Deniz Barış CEBE
Batman Üniversitesi / Türkiye
Doç. Dr. Nevin TURAN
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. İbrahim DOLAK
Dicle Üniversitesi / Türkiye
Mohammed Faraz KHAN
Jamia Hamdard University/ India
Dr. Salih ÖZER
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Hüseyin ALLAHVERDİ
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Fuat YETİŞSİN
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Yusuf ALAN
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Kenan BULDURUN
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
Dr. Ahmet SAVCI
Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye

İÇİNDEKİLER • CONTENTS

ÖZGÜN ARAŞTIRMA / ORIGINAL ARTICLE

Serkan ÖZTÜRK

Orta Anadolu Bölgesi (Türkiye) ve civarındaki güncel deprem aktivitesinin sismik durgunluk ve magnitüd-deprem sayısı istatistiği

645-652

Melis ZORŞAHİN GÖRGÜLÜ

A High-Order Accurate Numerical Algorithm for the Numerical Solution of Burgers' Equation

653-656

Mesut HÜSEYİNOĞLU, Tayfun ABUT

İki Ucu Ankastre U Çerçeve Yapının Modal Analizi

657-665

Zafer ÖZOMAY, Cem AYDEMİR, Şükrü Cem ÖZAKHUN

Determination Of The Most Suitable Option For Production With Uncoated Papers In Offset Printing By Multi-Criteria Decision Making Method

667-672

Ahmet BATTAL, Bahattin DÜZGÜN

Structural and morphological properties of SnO₂:Sb:F thin films produced by spray pyrolysis technique at various substrate temperatures

673-682

Mehmet Eşref ALKIŞ, Hüseyin KOÇ

The Effect of the Age in using the Brain-Machine Interface

683-687

Selçuk SAĞIR, Ramazan ATICI

Performance of the NeQuick 2 model during the geomagnetic storm

689-696

Şeyda GÜNGÖR

Obezitenin Tedavisinde Geçmiş ve Güncel Bariatrik Cerrahi Uygulamaları

697-705

Okuyucu Mektupları / Letters

Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimler Dergisi'nde yayımlanan çalışmalar hakkındaki değerli görüşlerinizi, yorumlarınızı ve önerilerinizi lütfen dergi editörüne iletiniz.

Dr. Adnan ÇETİN

a.cetin@alparslan.edu.tr

Orta Anadolu Bölgesi (Türkiye) ve civarındaki güncel deprem aktivitesinin sismik durgunluk ve magnitüd-deprem sayısı istatistiği

Serkan ÖZTÜRK¹

¹Jeofizik Mühendisliği, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye

✉: serkanozturk@gumushane.edu.tr  0000-0003-1322-5164

Geliş (Received): 13.09.2019

Düzeltilme (Revision):09.10.2019

Kabul (Accepted): 16.10.2019

ÖZ

Bu çalışmada, Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesi ve civarındaki güncel deprem aktivitesinin sismik durgunluk ve magnitüd-deprem sayısı istatistikleri gerçekleştirilmiştir. Son yıllardaki güçlü/büyük deprem oluşumları nedeniyle bu bölgedeki deprensellik çalışmaları oldukça önem kazanmıştır. *b*-değeri 2002 yılından sonra bir azalma eğilimi göstermektedir ve 2019'un başında 1.58 ± 0.03 'ten 1.25 ± 0.05 'e düşmüştür. *b*-değerinin bölge-zaman dağılımları, güney, batı, kuzeybatı ve güneybatı yönleri boyunca NF ve civarında, MFZ, KKFZ ve KOFZ arasında, kuzeybatı yönü boyunca SRF ve civarında, SRF ile DAFZ arasında önemli değişimler göstermektedir. 2019 yılı başlangıcındaki sismik durgunluk bölgeleri, TGFZ'nin kuzeybatı sonlarını ve AF'yi içeren çalışma alanını, SF'nin kuzeydoğusunu, SF ile OAFS arasını, OAFS'nin kuzeydoğu kısımlarını, MF'nin batısını, SRF ile DAFZ arasını, TGFZ'nin güneydoğu sonunu, KKFZ ve civarını, Tuzgölü'nün güneybatısını içermektedir. Sonuç olarak, Bu bölgeler, gelecekteki güçlü/büyük depremler için en olası alanlardan birisi olarak düşünülebilir.

Anahtar Kelimeler: *b*-değeri, deprem potansiyeli, sismik durgunluk, sismik tehlike

Seismic quiescence and magnitude-frequency statistics of current earthquake activity in the Central Anatolian Region (Turkey) and its vicinity

ABSTRACT

In this study, seismic quiescence and magnitude-frequency statistics of current seismic activity in and around the Central Anatolian Region of Turkey were achieved. Seismicity studies in this region have gained considerable importance due to the strong/large earthquake occurrences in recent years. *b*-value shows a tendency to decrease after 2002 and decreases from 1.58 ± 0.03 to 1.25 ± 0.05 at the beginning of 2019. Region-time distribution of *b*-value shows significant changes in NF and its vicinity along the south, west, northwest and southwest directions, among MFZ, KKFZ and KOFZ, in and around SRF and along its northwest direction, between SRF and EAFZ. Seismic quiescence regions at the beginning of 2019 consist the northwest ends of TGFZ and study area including AF, the northeast of SF, between SF and CAFS, the northeast parts of CAFS, the west of MF, between SRF and EAFZ, the southeast end of TGFZ, KKFZ and its vicinity, the southwest of Tuzgölü. Consequently, these regions may be considered as one of the most likely areas for future strong/large earthquakes.

Keywords: *b*-value, earthquake potential, seismic quiescence, seismic hazard

GİRİŞ

Deprem oluşumlarının bölgesel ve zamana bağlı değişimlerinin istatistiksel olarak analizi, deprem istatistiğinde farklı parametreler kullanılarak yapılabilir. Bununla birlikte, sismotektonik aktivitelerin bölge-zaman değişimlerini ortaya koyabilmek için geliştirilmiş oldukça etkili birçok yöntem mevcuttur. Deprenselliğin nicel bir analizi için sismotektonik *b*-değeri ve öncü sismik durgunluk *Z*-değeri gibi temel ve en sık kullanılan parametreler tercih edilebilir.

Deprem oluşumlarının magnitüd-deprem sayısı ilişkisi deneysel olarak tanımlanmış olup, Gutenberg-Richter

ilişkisinin *b*-değeri olarak bilinmektedir [1]. Güçlü/büyük deprem oluşumlarının oluşma olasılıklarının ve tekrarlar zamanlarının tahmini oldukça önemli olduğundan, bu ölçek yasası dağılımı deprem istatistiğinde, istatistiksel sismolojide ve deprem tehlike çalışmalarında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. *b*-değerinin bölge-zaman dağılımları sismotektonik yapıların tanımlanması, gerilmenin bölge-zaman-derinlik değişimlerinin ortaya konması, büyük ve küçük depremlerin rölatif oranlarının analizi gibi birçok değerlendirmeye imkan sağlamaktadır [2]. Genel bir ifadeyle, bir bölge için *b*-değerinde, hem bölgesel hem de zamansal olarak, bir azalma söz konusu

ise deprem oluşma olasılığından bahsedilebilir. Depremselliğin bölgesel ve zamana bağlı değişimlerini tanımlamada kullanılan bir diğer önemli uygulama ise depremsellik oran değişimlerinin analiz edilmesi olarak verilebilir. Öncü sismik durgunluk (Z-değeri), bir bölgedeki önceki ortalama deprem aktivitesine kıyasla mevcut deprem aktivitesindeki önemli bir düşüş olarak tanımlanır [3]. Bu durgunluk periyodu, deprem odak bölgesinde ve civarında, ana şoktan önceki birkaç yıl içerisinde görülebilir ve deprem sayısındaki bu azalma, depremsellikteki artışla, nispeten kısa bir periyod ile ana şoktan ayrılabilir [4]. Sonuçta, deprem sayısındaki azalma dönemleri güçlü bir şekilde sismik ve tektonik yapıya bağlı olduğundan, depremsellik oran değişimleri sismik tehlike çalışmaları için önemli bir adımı teşkil etmektedir.

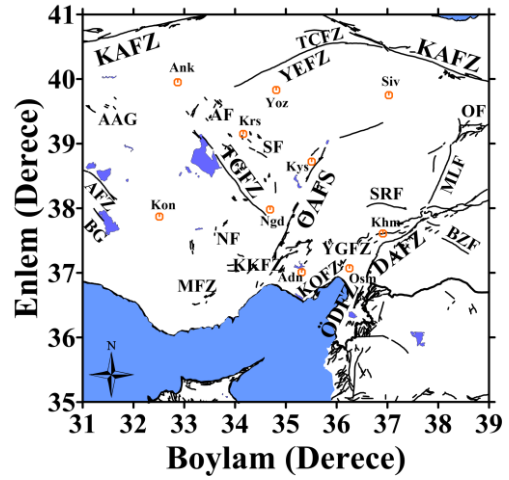
Bu çalışmanın temel amacı, yukarıda bahsedilen parametreler kullanılarak, detaylı sismotektonik çalışmaların ve tehlike analizlerinin yapılmadığı Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesi (OAB) ve civarını kapsayan alanda, deprem oluşumlarının bölgesel ve zamana bağlı değişimlerinin güncel ve güvenilir bir değerlendirmesini yaparak, deprem riski ve tehlikesi için ön bilgiler sağlamaktır. Bu tür parametreler Türkiye'nin ve dünyanın farklı bölgeleri için yapılan birçok istatistiksel çalışmada kullanılmış ve son yıllarda önemli sonuçlar elde edilmiştir [5-12].

Orta Anadolu Bölgesi Ve Civarının Depremselliği Ve Tektonik Özellikleri

Türkiye'nin OAB ve civarı kısa ve orta vadede büyük veya yıkıcı depremlerin oluşumu açısından önemli bir deprem tehlikesine sahip değildir. Bununla birlikte, geçmişte ve yakın zamanda OAB ve civarında 4 Temmuz 1978 Bala-Ankara ($M5.3$), 21 Nisan 1983 Bala-Ankara ($M5.0$), 27 Haziran 1998 Hasanbeyli-Adana ($M6.3$), 25 Haziran 2001 Arslanlı-Osmaniye ($M5.5$), 14 Aralık 2002 Andırın-Kahramanmaraş ($M5.6$), 20 Aralık 2007 Bala-Ankara ($M5.7$) ve 10 Ocak 2016 Hacıduraklı-Kırşehir ($M5.1$) gibi bazı güçlü/büyük depremler meydana gelmiştir. Dolayısıyla, son yıllardaki güçlü/büyük deprem oluşumları nedeniyle OAB için deprem tehlikesi çalışmaları daha da önemli hale gelmiştir.

OAB, Türkiye'nin Anadolu bloğundaki en önemli tektonik sistemlerinden biridir. Doğudan gelen sıkıştırma ve batıya doğru olan genişleme rejimleri bu bölge üzerinde oldukça etkilidir. OAB ve civarında KG ve KKD-GGB kısalması baskındır ve Kıbrıs boyunca Anadolu ve Afrika levhaları arasındaki çarpışmalı hareketler bu kısalma üzerinde oldukça etkilidir [13]. OAB ve civarındaki ana tektonik yapılar Tuzgözü Fay Zonu (TGFZ), Orta Anadolu Fay Sistemi (OAFS), Karsanti-Karaisalı Fay Zonu (KKFZ), Akpınar Fayı (AF), Niğde Fayı (NF) ve Salanda Fayı (SF) olarak verilebilir. Ayrıca, çalışma alanı sınırları içerisinde kuzeyde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Yağmurlu-Ezinepazarı Fay Zonu (YEFZ) ve Taşova-Çorum Fay Zonu (TÇFZ), batıda Beyşehir Grabeni (BG), Akşehir

Fay Zonu (AFZ) ve Akşehir-Afyon Grabeni (AAG), güneydoğuda Yakapınar-Göksun Fay Zonu (YGFZ), Karataş-Osmaniye Fay Zonu (KOFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Bozova Fayı (BZF) ve Ölüdeniz Fay Zonu (ÖDFZ), güneybatıda Mut Fay Zonu (MFZ) ve doğuda ise Sürgü Fayı (SRF), Malatya Fayı (MF) ve Ovacık Fayı (OF) mevcuttur. Hem genişleme hem de sıkıştırma içeren bu fay sistemleri çoğu sağ yönlü ve sol yönlü doğrultu atımlı faylardan oluşan oblik atımlı fay sistemlerinden meydana gelmiştir. OAB için sismik ve tektonik detaylar farklı çalışmalarda ele alınmıştır [13-15]. OAB için temel tektonik hatlar farklı çalışmalardan [13, 16, 17] derlenmiş ve Şekil 1'de verilmiştir.



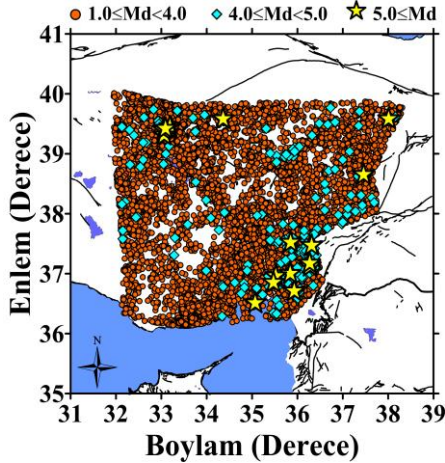
Şekil 1. OAB ve civarı için temel tektonik yapılar [13,16,17]. Fay isimleri metin içerisinde verilmiş, çalışma alanı sınırları içerisinde kalan bazı önemli yerleşim merkezleri şekil üzerinde gösterilmiştir: Ank: Ankara, Yoz: Yozgat, Siv: Sivas, Krs: Kırşehir, Kys: Kayseri, Kon: Konya, Ngd: Niğde, Khm: Kahramanmaraş, Osm: Osmaniye, Adn: Adana

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, 1970-2006 yılları arasındaki depremler için kullanılan katalog Öztürk [13]'ten alınmıştır. Ayrıca, 2007-2019 yılları arasındaki deprem verisi Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) ile Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) web sayfalarından temin edilen kataloglardan derlenmiştir. İstatistiksel bölge-zaman analizleri için Eylül 1974-Aralık 2018 yılları arasında magnitüdü 1.0-6.0 arasında değişen 16702 sığ depremi (derinlik < 70 km) içeren katalog kullanılmıştır. Kullanılan deprem katalogu süre magnitüdü M_d 'ye göre homojen ve yaklaşık 44.29 yıllık bir zaman aralığı içerisinde sürekli. Analizlerde kullanılan ve 16702 depremi içeren orijinal deprem katalogu farklı magnitüd grupları için farklı semboller kullanılarak Şekil 2'de gösterilmiştir.

Deprem istatistiği çalışmalarında deprem verisindeki bağımlı ve bağımsız olayların birbirinden ayırt edilmesi güvenilir ve yüksek kaliteli deprem tehlikesi analizleri için önemli bir adımdır. Dolayısıyla, deprem katalogları ayrıştırılmalı (decluster, decompose) ve depremler birincil ve ikincil olaylara ayrılmalıdır. Bu işlem

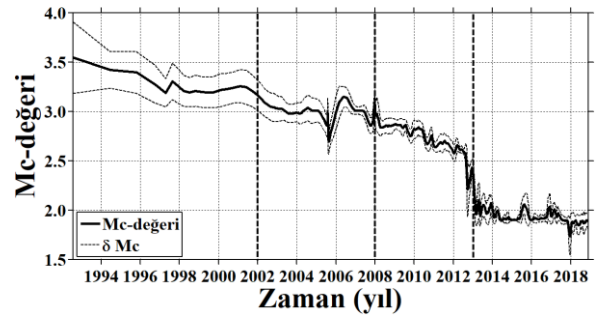
sonrasında tüm bağımlı olaylar bağımsız olaylardan ayrılır ve bu bağımlı depremler her bir kümeden çıkarılarak tek bir olaya atfedilir. Bu çalışma kapsamında, deprem kataloğunu ayrıştırmak için ZMAP yazılımı [18] ile Reasenberg [19] tarafından geliştirilen algoritmaya dayalı ayrıştırma yöntemi kullanılmıştır. Buna ek olarak, tamlik magnitüdü (M_c -değeri), istatistiksel depremsellik çalışmalarında oldukça önemli bir parametredir. M_c -değeri, tam bir deprem kaydının minimum büyüklüğüdür ve depremlerin magnitüd-deprem sayısı dağılımı için hesaplanabilir [20]. Katalogdaki depremlerin %90'ını içeren bu değerdeki zamana bağlı değişimler, özellikle b -değeri ve Z -değeri başta olmak üzere birçok depremsellik parametresinin hesaplanmasını etkiler. Deprem kayıt ağının depremden hemen sonra kurulamayışı yüksek aktivite süresince küçük olayların kayıt edilmesini zorlaştırır ve dolayısıyla katalogun ilk dönemlerinde M_c -değeri yüksek olur. M_c -değerinin tahmini, magnitüd-deprem sayısı dağılımına ve M_c -değerinin yaklaşık ilk dizisi olarak bu dağılımın ilk türevinin maksimum değer hesabına dayanır [20]. Her bir pencere başına belli sayıda deprem dikkate alınarak bu deprem dizisi için ortalama bir magnitüd değeri hesaplanmış ve her bir pencere için hesaplanan bu değer o pencereyi kapsayan zaman aralığı için ortalama M_c -değeri olarak kabul edilmiştir. Dolayısıyla, M_c -değerinin hesabı üst üste binen hareketli pencere tekniği kullanılarak maksimum olasılık yöntemiyle zamanın bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir. Sonuçta, tüm istatistiksel parametrelerin analizlerinin yüksek kalitedeki sonuçları için katalogdaki maksimum deprem sayısının kullanılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada tüm istatistiksel bölge-zaman analizleri Wiemer [18] tarafından sağlanan ZMAP yazılım programı ile yapılmıştır.



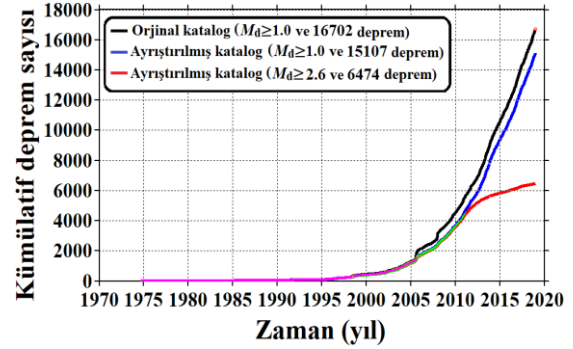
Şekil 2. OAB ve civarı için 1974-2019 yılları arasında $M_d \geq 1.0$ olan 16702 sığ depremi içeren orijinal deprem katalogunun episantır dağılım haritası. Depremlerin magnitüd değerleri farklı sembollerle gösterilmiştir

Ayrıştırma işleminden sonra, 1595 deprem (katalogun yaklaşık % 9.55'i) katalogdan çıkarılmış ve geriye 15107 deprem kalmıştır. $M_d \geq 1.0$ olan ve sığ depremleri içeren orijinal deprem katalogu için M_c -değeri 1974-

2019 periyodunda 1.7 ile 3.6 arasında değişim göstermekte olup (Şekil 3), buna bağlı olarak M_c -değeri ortalama 2.6 olarak alınmıştır. M_c -değeri, b -değerinin ve Z -değerinin doğru olarak tahmin edilmesinde oldukça etkili olduğu için zamana bağlı M_c değişimleri analiz edilmiş ve dikkatli bir şekilde tahmin yapılmıştır. $M_d < 2.6$ olan depremlerin sayısı 8633 olup, bu değere sahip tüm depremler katalogdan çıkarılmıştır. Dolayısıyla, ayrıştırma işlemi ve $M_d < 2.6$ olan depremlerin katalogdan ayırt edilmesinden sonra, depremlerin toplamda yaklaşık % 61.24'ü katalogdan çıkarılmış ve analizler için kullanılan deprem sayısı 6474'e düşmüştür (Şekil 4). Sonuç olarak, istatistiksel analizlerde daha homojen, tekdüze ve güvenilir deprem katalogu kullanılmıştır.



Şekil 3. M_c -değerinin zamana bağlı değişimleri. Tamlik magnitüdü analizi hareketli pencere tekniği ile örneklenmiştir ve her bir pencere 250 depremi içermektedir. Kesikli çizgi standart sapmayı (δM_c) göstermektedir



Şekil 4. $M_d \geq 1.0$ olan tüm katalog için, $M_d \geq 1.0$ ve $M_d \geq 2.6$ olan ayrıştırılmış katalog için zamanın bir fonksiyonu olarak kümülatif deprem sayısı

Magnitüd-Deprem Sayısı (Gutenberg-Richter İlişkisi, b -değeri)

Gutenberg-Richter [1] boyut-ölçek ilişkisi (G-R) deprem istatistiğinin temel bağıntısı olarak bilinir. Bu deneysel güç yasası deprem oluşumlarının magnitüd-frekans dağılımını tanımlar ve matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\log_{10} N(M) = a - bM \quad (1)$$

Burada $N(M)$ magnitüdü M 'den büyük veya eşit olan belirli bir dönem içerisindeki depremlerin kümülatif

sayısı, a ve b -değerleri ise sabitlerdir. a -değeri deprem aktivite seviyesindeki değişimleri gösterirken, magnitüd-deprem sayısı dağılımının eğimi b -değeri ile verilir. a -değeri farklı bölgeler için önemli değişimler gösterir ve bu değişimler çalışma alanının uzunluğuna, kataloğun periyoduna ve deprem sayısına oldukça bağlıdır. b -değeri dünyanın farklı bölgeleri için 0.3-2.0 arasında değişim gösterir [21]. Bununla birlikte, G-R bağıntısındaki ortalama b -değeri yaklaşık 1.0 olarak kabul edilir [22]. b -değeri küçük ve büyük depremlerin rölatif sayılarıyla ilişkili olmasına rağmen, b -değerindeki değişimleri etkileyen birçok faktör mevcuttur. Laboratuvar çalışmaları, b -değerindeki bir azalmanın, kayma gerilmesindeki bir artışla ve basınçtaki bir azalmayla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur [2,21,22,23]. Ayrıca, çatlak yoğunluğu, termal değişimler, jeolojik yapılar, fay uzunluğu, malzeme özellikleri, kayma dağılımları ve yamulma koşulları b -değerinde önemli değişimlere neden olur [2,23]. Sonuç olarak, b -değeri reolojik (cisimlerin gerilme altında zamana bağlı değişimleri) ve jeoteknik özellikler için ölçekten bağımsız temel bir parametredir.

Standart Normal Sapma Z-testi (Öncü Sismik Durgunluk, Z-değeri)

Depremsellik oran değişimlerini tanımlamak ve analiz etmek için birçok istatistiksel model mevcuttur. Bu yöntemlerin çoğu sismik durgunluğun ana depremlerden önceki bölgesel ve zamana bağlı modellemelerini kullanır. Bu tür depremsellik analizleri için en sık tercih edilen yöntemlerden biri standart normal sapma Z-testi olarak verilir. ZMAP tekniği sismik durgunluk gösteren alanları haritalamak için kullanılır [24]. Standart normal sapma Z-testi standart sapma birimindeki güven seviyesinin istatistiksel değerlendirilmesi için Uzun Vadeli Ortalama (Long Term Average, LTA) üretir ve aşağıdaki denklem ile verilir:

$$Z(t) = \frac{R_1 - R_2}{\left(\frac{\sigma^2}{n_1} + \frac{\sigma^2}{n_2} \right)^{1/2}} \quad (2)$$

Burada R_1 tüm ön pencere içerisindeki depremler için ortalama aktivite oranı, R_2 tüm arka plan penceresindeki depremler için ortalama depremsellik oranı, σ ve n ise sırasıyla standart sapmalar ile pencere içerisinde ve dışarısındaki örneklerin sayısıdır. Zamanın bir fonksiyonu olarak hesaplanan Z-değeri, deprem kataloğunun periyodu boyunca ön pencerenin belli zaman aralıkları ile kaydırılmasına ve her periyod için deprem aktivitesindeki değişimlerin haritalanmasına olanak sağlar.

BULGULAR ve TARTIŞMA

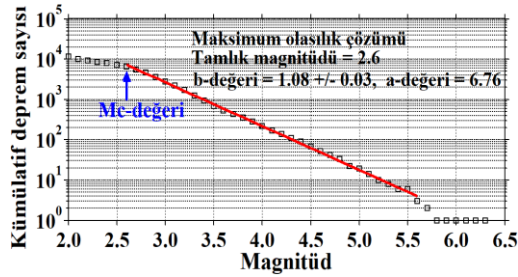
Bu çalışmada temel hedef, 2019 yılı başlangıcında Türkiye'nin OAB ve civarı için iki sismotektonik parametre b -değeri ve Z-değerinin bölgesel ve zamana bağlı değişimlerinin analiz edilmesiyle deprem tehlikesi

ve riski için bazı ön değerlendirmelerde bulunmaktadır. Bu tür kapsamlı istatistiksel analizler için bu çalışmada, deprem aktivitesinin zaman-magnitüd dağılımı, zamanla M_c -değeri değişimi, b -değeri ve Z-değerinin bölgesel ve zamana bağlı değişimleri ile bu parametreler arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Sonuçta, OAB ve civarı için gelecek deprem oluşumları için kullanılabilir bilgiler ortaya koyarak güncel ve gelecek deprem potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır.

İstatistiksel bölge-zaman analizlerini içeren depremsellik çalışmalarında minimum magnitüdü depremin seçimi için M_c -değerinin tahmini oldukça önemlidir. Bu nedenle, M_c -değerinin zamanla değişimi ve standart sapması hesaplanmış ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Zamanın bir fonksiyonu olarak M_c -değerinin tahmini hareketli pencere tekniği kullanılarak yapılmıştır. 16702 depremi içeren orijinal deprem kataloğu kullanılmış ve M_c -değerinin tahmini için pencere başına 250 deprem ile örneklenmiştir. Zamanın bir fonksiyonu olarak M_c -değerindeki değişimleri daha ayrıntılı olarak inceleyebilmek için katalog dört farklı zaman dilimine ayrılmış ve belirli periyodlardaki dalgalanmalar daha net ortaya konmuştur. M_c -değeri 1974-2002 yılları arasında oldukça büyük (3.0-3.6) değişimler gösterirken, 2002-2008 yılları arasında 2.6'dan 3.0 civarına kadar değişmektedir. 2008'den 2013'e kadar 2.0-3.0 arasında değişim gösterirken, 2019 yılı başında yaklaşık 1.8 değerine kadar düştüğü görülür. Sonuç olarak, Şekil 3'te görüldüğü gibi M_c -değeri 1974-2019 yılları arasında 1.7'den 3.6'ya kadar sabit olmayan bir değişim gösterir. M_c -değerinin tahmini için yapılan bu analize göre, M_c -değeri ortalama 2.6 olarak varsayılmış ve tüm parametrelerin tahmininde bu M_c -değeri kullanılmıştır.

$M_d \geq 1.0$ olan ve tüm depremleri içeren orijinal katalog (16702 deprem), $M_d \geq 1.0$ olan ayrıştırılmış katalog (15107 deprem) ve $M_d \geq 2.6$ olan ayrıştırılmış katalog (6747 deprem) için zamanın bir fonksiyonu olarak kümülatif deprem sayısı Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi 1974-1995 yılları arasında deprem aktivitesinde önemli bir değişim yoktur ve 1995-2000 yılları arasında çok az bir depremsellik değişimi mevcuttur. Bununla birlikte, 2000 yılı başta olmak üzere özellikle 2005 yılından sonra deprem aktivitesinde önemli bir artış görülmektedir. Ayrıca, deprem kataloğu ayrı ayrı 1974-1995, 1995-2005 ve 2005-2019 arasında homojen olarak değerlendirilebilir. Son yıllarda KRDAE ve AFAD istasyon sayılarının artması ile kayıt edilen minimum deprem büyüklüğü 2.6'ya kadar bir düşüş göstermiştir. Bazı araştırmacılar istatistiksel deprem çalışmalarında M_c -değerinin kullanımı üzerine detaylı bölgesel ve zamana bağlı analizler gerçekleştirmiş ve M_c -değerinin seçimi ile katalogun ayrıştırma işlemi sürecinin deprem oluşumlarının tahmininde oldukça önemli bir aşama olduğunu ifade etmiştir [25,26]. Bu araştırmalar, M_c -değeri analizinin mutlaka yapılması gerektiğini, artçı şok, öncü şok ve deprem yığılımı gibi ana şoka bağımlı tüm olayların katalogdan çıkarılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Şekil 4'te görüldüğü gibi, $M_d \geq 2.6$ olan ayrıştırılmış

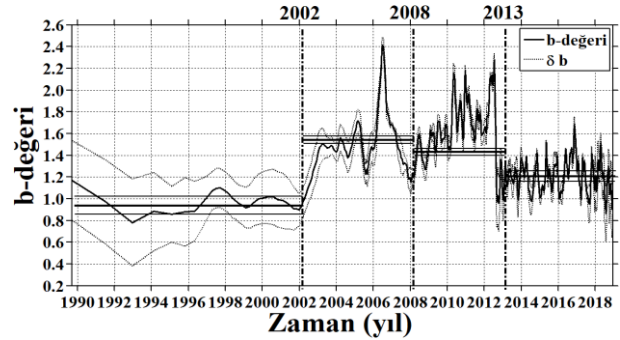
depremlere ait kümülatif deprem sayısı eğrisi orijinal kataloğa göre daha düzgün bir yönelime sahiptir. Sonuçta, bu iki işlem ile bağımlı olaylar orijinal katalogdan çıkarılarak istatistiksel bölge-zaman analizleri için bağımlı olaylardan temizlenmiş, daha güvenilir ve daha homojen bir katalog elde edilmiştir. G-R ilişkisindeki b -değeri ve magnitüd deprem sayısı dağılımı, 15107 depremi içeren ayrıştırılmış katalog kullanılarak analiz edilmiş ve Şekil 5'te verilmiştir. b -değeri, en küçük kareler tekniğine göre daha doğru bir tahmin sağlayacağından, maksimum olasılık yöntemi ile hesaplanmıştır [27]. M_c -değeri 2.6 alınarak 1974-2019 yılları arasındaki ortalama b -değeri 1.08 ± 0.03 olarak hesaplanmıştır. b -değerine ek olarak, standart sapma, a -değeri ve M_c -değeri de şekil üzerinde verilmiştir. Yukarıda da ifade edildiği gibi, b -değeri küresel ölçekte bölgeden bölgeye 0.3-2.0 arasında değişir ve ortalama b -değeri 1.0'e yakın olarak kabul edilmesine rağmen, tektonik depremler 0.5-1.5 arasında değişen bir b -değeri ile temsil edilirler [22]. Sonuçta, OAB ve civarındaki deprem oluşumları için b -değeri G-R ilişkisi ile oldukça iyi temsil edilir.



Şekil 5. G-R ilişkisindeki b -değeri ve magnitüd-deprem sayısı dağılımı. Analiz için 15107 depremi içeren ayrıştırılmış deprem kataloğu kullanılmış ve M_c -değeri şekil üzerinde gösterilmiştir

b -değerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 6'da verilmiştir. Zamanın bir fonksiyonu olarak b -değerindeki değişimleri daha ayrıntılı değerlendirebilmek için, belirli dönemlerdeki dalgalanmalar göz önünde bulundurularak, dört farklı zaman dilimi dikkate alınmış ve b -değerleri bu zaman aralıkları için hesaplanmıştır. b -değerinin zamanla değişimi ayrıştırılmış deprem kataloğu (15107 deprem) kullanılarak hesaplanmış ve 150 örneklik hareketli zaman penceresi kullanılmıştır. Bunun sonucunda, 2002, 2008 ve 2013 gibi belirli dönemlerde önemli artmalar ve azalmaların olduğu görülmüştür (Şekil 6). Buna bağlı olarak, Şekil 3 ve 7'de olduğu gibi, zamana bağlı değişiklikler dikkate alınarak zaman aralıkları 1974-2002, 2002-2008, 2008-2013 ve 2013-2019 olarak seçilmiştir. Her bir zaman aralığındaki deprem sayısı, zaman aralığının büyüklüğüne bağlı olarak farklı deprem sayıları ve M_c -değerleri kullanılmıştır. 1974-2002 yılları arasında b -değerinde önemli değişimler olmamakla birlikte, ortalama b -değeri 534 deprem kullanılarak ve $M_c=3.3$ alınarak 0.98 ± 0.09 olarak hesaplanmıştır. 2002-2008 yılları arasında b -değerinde büyük artma ve azalmalar görülmüş, ortalama b -değeri

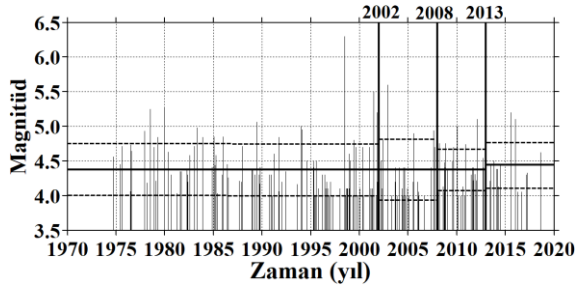
1887 deprem kullanılarak ve $M_c=3.0$ alınarak bir önceki periyoda göre daha büyük bir değer olan 1.58 ± 0.03 ile temsil edilmiştir. 2012 yılı başında keskin bir düşüş ile birlikte b -değerinde büyük dalgalanmalar ve 2008-2013 yılları arasında sistematik bir artış gözlenmiştir. Bu zaman periyodu için ortalama b -değeri 4098 deprem kullanılarak ve $M_c=2.6$ alınarak bir önceki periyoda göre daha küçük bir değer olan 1.48 ± 0.03 ile temsil edilmiştir. Bununla birlikte, son zaman periyodu olan 2013-2019 yılları arasında b -değerinde belirgin bir azalma olup, ortalama b -değeri 8588 deprem kullanılarak ve $M_c=2.0$ alınarak bir önceki periyoda göre daha düşük bir değer olan 1.25 ± 0.05 ile temsil edilmiştir. Genel olarak, Şekil 6'da görüldüğü gibi 2002-2012 yılları arasında b -değerinde belirgin bir artış gözlenirken, 2013 yılından sonra belirgin bir azalma söz konusudur. Ayrıca, bu önemli dalgalanmalar 2000-2017 yılları arasındaki güçlü/büyük depremlerin oluşum zamanları ile ilişkilidir ve ana şok oluşumlarından önce b -değerindeki bu azalmalar net olarak görülebilir. Yukarıda bahsedildiği gibi, birçok araştırmacı bazı büyük depremlerin oluşumundan önce b -değerindeki bu tür düşüşleri gözlemlemiştir [6,8,10]. Bu sonuçlar dikkate alındığında, ana şoktan önce b -değerindeki düşüşün artan gerilme dağılımından kaynaklanabileceği düşünülebilir ve son yıllarda b -değerindeki bu azalım OAB ve civarında gelecekte olası bir depremin öncüsü olarak yorumlanabilir.



Şekil 6. Zamanın bir fonksiyonu olarak b -değeri ve standart sapması (kesikli çizgi, δb). Kalın yatay çizgiler ortalama b -değerlerini, alt ve üstteki ince yatay çizgiler bunların standart sapmalarını göstermektedir. Analiz için ayrıştırılmış deprem kataloğu kullanılmış ve hareketli pencere tekniği ile pencere başına 150 deprem kullanılarak örnekleme yapılmıştır

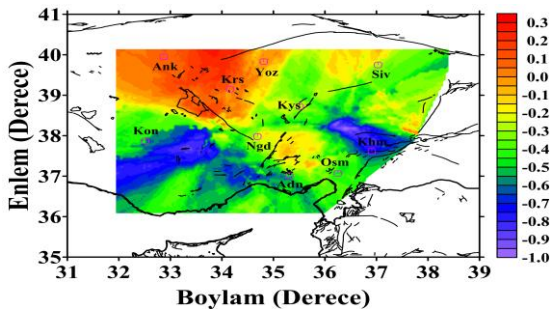
1974-2019 yılları arasında OAB ve civarındaki depremlerin magnitüdündeki değişimleri değerlendirebilmek amacıyla, $M_d \geq 4.0$ olan 216 depremin zamana bağlı değişimleri Şekil 7'de verilmiştir. 1974-2002 arasında ortalama magnitüd değeri 4.38 ± 0.38 , 2002-2008 arasında 4.38 ± 0.44 , 2008-2013 arasında 4.38 ± 0.30 ve 2013-2019 yılları arasında 4.44 ± 0.33 olarak hesaplanmıştır. 1974-2002 yılları arasında $M_d \geq 5.0$ olan 9 deprem bulunmakta olup, en büyüğü 6.3 iken, 2002-2008 yılları arasında 3 deprem ve en büyüğü 5.7, 2008-2013 yılları arasında 2 deprem ve en büyüğü 5.1, 2013-2019 yılları arasında 2 deprem ve en büyüğü 5.2'dir. Şekil 7'den görüldüğü gibi, 1974-

1998 yılları arasında çok fazla güçlü deprem olmamasına rağmen, 1998 yılından sonra güçlü/büyük depremlerin sayısında önemli bir artış söz konusudur. Sonuçta, kümelenme özellikleriyle ilişkili depremsellik OAB ve civarında güçlü/büyük bir deprem oluşumuyla ilişkili olabilir.



Şekil 7. 1970-2019 yılları arasında $M_d \geq 4.0$ olan 216 deprem magnitudünün zamanın bir fonksiyonu olarak değişimi. Kalın yatay çizgiler ortalama magnitudü değerlerini, alt ve üst ince yatay kesikli çizgiler ise bu zaman aralıkları için standart sapmaları göstermektedir

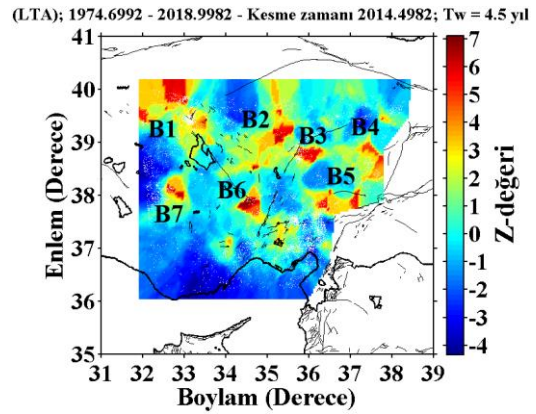
OAB ve civarı için b -değerinin 2008-2019 yılları arasındaki bölge-zaman değişimi Şekil 8'de verilmiştir. Bölge-zaman değişimlerini haritalamak için 15107 depremi içeren ayrıştırılmış deprem kataloğu kullanılmış ve çalışma alanı enlem ve boylam için $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 'lik grid aralıklarına bölünmüştür. Şekil 6'da verilen zaman aralıkları dikkate alınarak 2008-2012 ve 2013-2019 yılları arasında b -değeri değişimleri hesaplanmış ve 2008-2019 yılları arasındaki fark ortaya konulmuştur. 2008-2012'ye kıyasla 2013-2019 yılları arasında b -değerinde bir azalma eğilimi görülmektedir. 2019 yılı başlangıcında bazı bölgeler 0.5 ile -1.0 arasında değişen önemli azalmalar sergilemektedir. Bu bölgeler, NF ve civarı, KKFZ, MFZ ile KKFZ arası, NF'nin güney batı ucu, OAFS'nin güney batı sonu, SRF ve civarı olarak verilebilir. Ayrıca, 2019 yılı başlangıcı itibarıyla b -değerinde bazı küçük azalmalar (-0.4 ile -0.1 arası) ve artımlar da (0.1 ile 0.3 arası) söz konusudur.



Şekil 8. OAB ve civarı için 2008-2019 yılları arasında zamansal b -değerinin bölgesel değişimi. Analizler için ayrıştırılmış deprem kataloğu kullanılmıştır

OAB için 2019 yılı başlangıcındaki depremsellik oran değişimleri Şekil 9'da sunulmuştur. b -değeri haritasında olduğu gibi Z -değerini de haritalamak için enlem ve boylamda $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 'lik bölgesel grid aralığı kullanılmıştır. 2019 yılı başlangıcında sismik durgunluk

sergileyen anomali bölgeleri, TGFZ ile çalışma alanının kuzey batı uçlarında (B1), SF'nin kuzeydoğusunda ve SF ile OAFS arasında (B2), OAFS'nin kuzeydoğu kısımlarında (B3), MLF'nin batısında (B4), SRF ve civarında (B5), TGFZ ile OAFS arasında TGFZ'nin güneydoğu ucunda ve OAFS ile YGFZ arasında (B6), Tuzgölü'nün güneybatısında (B7) yoğunlaşmıştır. Dolayısıyla, Şekil 8 ve 9'da görüldüğü gibi, düşük b -değerli ve yüksek Z -değerli bölgelerin bir kombinasyonu OAB ve civarı için deprem potansiyelinin ortaya konulmasında kullanılabilir ön bilgiler sağlayabilir ve sonuçta, bu anomali bölgelerine dikkat edilmelidir.



Şekil 9. OAB ve civarı için $T_w=4.5$ yıl alınarak 2019 yılı başlangıcı için hesaplanmış Z -değerinin bölgesel değişimleri. Analiz için $M_d \geq 2.6$ olan ve 6474 depremi içeren ayrıştırılmış deprem kataloğu kullanılmıştır. Hesaplamaların zamanla daha yoğun ve sürekli olabilmesi için her bir grid aralığına düşen deprem sayısı 50 ve gruplama aralığı 28 gün olarak alınmıştır

OAB ve civarının güçlü deprem oluşumları ile ilişkili olarak kısa/orta vadede yüksek seviyede bir deprem tehlikesine sahip olmadığı bilinmektedir. Buna bağlı olarak, OAB ve civarı için sismik ve tektonik parametreler arasındaki olası ilişkileri dikkate alan kapsamlı istatistiksel çalışmalar oldukça azdır ve deprem oluşumlarının bölge-zaman değişimleri üzerine fazla çalışma mevcut değildir. Bununla birlikte, bu bölgedeki son on yıldaki depremler dikkate alındığında, deprem dağılımlarının detaylı bir istatistiksel bölge-zaman analizi önemli olacaktır. Bazı araştırmacılar farklı yöntemler kullanarak OAB ve civarındaki depremlerin istatistiksel davranışlarını tanımlamaya çalışmışlar ve önemli sonuçlar elde etmişlerdir [28,29,30].

OAB'nin bazı kısımlarını kapsayan ve doğu Akdeniz bölgesini içeren bir alanda depremlerin geri dönüşüm periyodlarının ve deprem oluşum aralıklarının tahmini üzerine istatistiksel bir çalışma yapılmıştır [28]. Bu çalışma kapsamında Poisson, Gumbel ve Üstel dağılım modelleri gibi farklı istatistiksel yaklaşımlar kullanılmış ve çalışma alanı için G-R ilişkisindeki b -değeri 0.96 olarak hesaplanmıştır. Sismik risk ve tekrarlamaya zamanlarını içeren Poisson modeli sonuçlarına göre $M_s=5.0$ (yüzey dalgası magnitudü) olan depremlerin 10, 20, 50, 75 ve 100 yıldaki oluşma olasılıkları sırasıyla

%75, %94, %99, %99 ve %100 olarak hesaplanmıştır. $M_s=5.5$ olan depremlerin 10, 20, 50, 75 ve 100 yıldaki oluşma olasılıkları sırasıyla %37, %60, %90, %97 ve %99 olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca, $M_s=6.0$ olan depremlerin 10, 20, 50, 75 ve 100 yıldaki oluşma olasılıkları ise sırasıyla %14, %26, %53, %68 ve %78 olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte, $M_s=6.4$ olan depremlerin 10, 20, 50, 75 ve 100 yıldaki oluşma olasılıkları sırasıyla %6, %12, %27, %38 ve %47 olarak tahmin edilmiştir. Bunlara ek olarak, $M_s=5.0, 5.5, 6.0$ ve 6.4 olan depremlerin geri dönüşüm periyodları sırasıyla 7.3, 21.8, 65.9 ve 159.6 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan görüleceği üzere, OAB ve civarındaki bazı bölgelerde orta/uzun vadede önemli bir deprem potansiyeli mevcuttur.

G-R ilişkisi dikkate alınarak, Türkiye'nin Batı Anadolu Bölgesi için, olasılığa dayalı bir deprem tehlike analizi yapılmış [29] ve 1900-2005 yılları arasındaki deprem verisi için maksimum olasılık yöntemi ile magnitüd-frekans ilişkisindeki b -değeri 0.84 olarak hesaplanmıştır. Poisson modeli sonuçlarına göre, $M \geq 5.0, M \geq 5.5$ ve $M \geq 6.0$ olan depremlerin 50, 75 ve 100 yıldaki olasılıkları tüm magnitüd değerleri için %100 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, $M \geq 6.5$ olan depremlerin 50, 75 ve 100 yıldaki olasılıkları sırasıyla %94.8, %98.8 ve %99.7 olarak hesaplanırken, $M \geq 7.0$ olan depremlerin 50, 75 ve 100 yıldaki olasılıkları sırasıyla %64.7, %81.4 ve %89.4 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, $M \geq 5.0, M \geq 5.5, M \geq 6.0, M \geq 6.5$ ve $M \geq 7.0$ olan depremlerin geri dönüşüm periyodları sırasıyla 1.3, 3.5, 9.8, 27.1 ve 75.1 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, Batı Anadolu Bölgesi için orta/uzun vadede deprem potansiyeline işaret etmektedir ve bir önceki çalışmayla da uyumludur.

Özmen [30], 1900-2011 yılları arasındaki $M_w \geq 4.0$ (moment magnitüdü) olan depremleri kullanarak Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesi için istatistiksel bir deprem tehlikesi analizi gerçekleştirmiştir. Bu amaçla, deprem tehlike parametrelerini tahmin edebilmek için Gumbel Uç Değerler yöntemini kullanmış ve $30-35^\circ\text{D}$ boylamları ile $38-41^\circ\text{K}$ enlemleri arasında kalan bölgeyi altı alt bölgeye ayırarak bir değerlendirme yapmıştır. Her bir alt bölge için deprem olasılıkları ve tekrarlamaya periyodları hasara neden olabilecek ve gelecekte tekrarlayabilecek güçlü/büyük depremler için hesaplanmıştır. Farklı alt bölgelerin karşılaştırılması, KAFZ'nin $M_w \geq 7.0$ olan depremin gelecek 100 yıldaki %87 oluşma olasılığı ve 50 yıllık geri dönüşüm periyodu ile en yüksek deprem tehlikesine sahip olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, KAFZ depremleri ilişkili tehlike için OAB ve civarı için önemli bir tetikleyici olabilir. Sonuç olarak bu çalışma, sismik tehlike çalışmalarına katkı sağlayabilir ve elde edilen sonuçlar bu bölgedeki deprem potansiyelinin değerlendirilmesinde öncül ve faydalı bilgiler ortaya koyabilir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve literatürdeki mevcut bilgiler dikkate alındığında, son yıllarda OAB ve civarındaki depremlerin bölgesel ve zamana bağlı

davranışlarının analiz edilmesiyle, yakın güncel ve yakın gelecekteki deprem tehlikesi açısından birincil ve kullanışlı sonuçlar ortaya konulduğu görülmektedir. OAB geçmiş ve yakın yıllarda büyük/yıkıcı depremlere maruz kalmamış olmasına rağmen, 14 Aralık 2002 Kahramanmaraş ($M5.6$), 20 Aralık 2007 Ankara ($M5.7$) ve 10 Ocak 2016 Kırşehir ($M5.1$) gibi bazı güçlü/büyük depremler çalışma bölgesi sınırları içerisinde meydana gelmiştir. Yukarıda bahsedilen araştırmacıların elde ettiği bulgulardan da görüleceği üzere, tüm sonuçlar birbirleriyle ve bu çalışmada elde edilen sonuçlarla uyumludur. Sonuç olarak, bu çalışmada tanımlanan sismik ve tektonik parametreler arasındaki detaylı bir istatistiksel bölge-zaman analizi Türkiye'nin OAB için orta/uzun vadede güçlü/büyük deprem oluşumları için deprem riski ve tehlikesinin ortaya konulmasında önemli bir bakış açısı sağlayabilir.

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Türkiye'nin OAB ve civarındaki güncel deprem dağılımlarının 2019 yılı başında bölgesel ve zamana bağlı davranışlarının istatistiksel bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu amaçla, magnitüd-frekans dağılımındaki b -değeri ile sismik durgunluk Z -değeri gibi deprem istatistiklerinde en sık kullanılan sismik ve tektonik parametreler analiz edilmiştir. 2008 yılı başta olmak üzere, özellikle 2002 yılından sonra deprem aktivitesinde önemli bir artış söz konusudur ve katalogdaki depremlerin yaklaşık %81.65'i 2008-2019 yılları arasında meydana gelmiştir. Orijinal katalog için tamlik magnitüdü $M_c=2.6$ olarak alınmış ve tüm deprem oluşumları için ortalama b -değeri 1.08 ± 0.03 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, ortalama $b=1.0$ değerine oldukça yakındır ve OAB ile civarındaki deprem oluşumlarının Gutenberg-Richter ilişkisi ile iyi temsil edildiğini göstermektedir. 2002-2008 yılları arasında b -değerinde gözle görülebilir bir artış (1.58 ± 0.03) söz konusudur. Buna karşın, 2008-2019 yılları arasında b -değerinde net bir düşüş gözlenmiştir. Ayrıca, 2008-2012 yılları arasında $b=1.48 \pm 0.03$, 2013-2019 yılları arasında ise $b=1.25 \pm 0.05$ olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, son yıllarda b -değerindeki azalma eğilimi, artan gerilme birikimiyle ve sonuçta da çalışma alanında gelecekteki olası bir depremle ilişkili olabilir.

Zamanın bir fonksiyonu olarak b -değerindeki bölgesel değişimler, 2013-2019 yılları arasında önemli azalmalar göstermiştir. b -değerinde düşüşlerin gözleendiği bölgeler, güney, batı, güneybatı ve kuzeybatı yönleri boyunca NF ve civarını, MFZ, KKFZ ve KOFZ arasını, SRF ve civarı ile kuzeybatı kısımlarını, SRF ile DAFZ arasında kalan bölgeleri içermektedir. 2019 yılı başlangıcında sismik durgunluk sergileyen yedi anomali bölgesi tespit edilmiştir. Yüksek Z -değerli bu bölgeler, çalışma alanının AF'yi içeren kısmı ve TGFZ'nin kuzeybatı sonları, SF'nin kuzeydoğusu, SF ile OAFS arası, OAFS'nin kuzeydoğu kısımları, MF'nin batısı, SRF ile DAFZ arası, TGFZ'nin güneydoğu ucu, KKFZ ve civarı, Tuzgölü'nün güneybatısı olarak verilebilir. Dolayısıyla, 2019 yılı başında OAB ve civarında

tanımlanan düşük *b*-değerli ve yüksek *Z*-değerli bu anomali alanları gerilme artışı ile ilişkili olabilir ve gelecek güçlü/büyük depremler için en olası bölgeler olarak yorumlanabilir.

Sonuç olarak, sismik ve tektonik parametrelerin birlikte değerlendirilmesi ile OAB ve civarındaki deprem tehlikesi için, birincil ve kullanılabilir sonuçlar ortaya konulmuş ve elde edilen sonuçlar literatür çalışmalarıyla desteklenmiştir. Bu tür parametrelerin deprem istatistiği çalışmalarında birlikte değerlendirilmesi, potansiyel olarak farklı bölgelerdeki deprem tehlikesi çalışmalarına öncülük edecektir.

TEŞEKKÜR

ZMAP yazılımını sağlayan Prof. Dr. Stefan Wiemer' e (ETH, Züriç), yapıcı tavsiyelerde bulunan hakemlere ve editöre, analizlerde kullanılan deprem kataloğunu sağlayan KRDAE ve AFAD yetkililerine teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

- [1] Gutenberg B., Richter, C.F. Frequency of earthquakes in California, B. Seismol. Soc. Am. 34 185-188, 1944.
- [2] Scholz C.H. The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes, B. Seismol. Soc. Am. 58 399-415, 1968.
- [3] Wyss M., Martirosyan A.H. Seismic quiescence before the M7, 1988, Spitak earthquake, Armenia, Geophysical Journal International 134(2) 329-340, 1998.
- [4] Wyss M., Habermann R.E. Precursory seismic quiescence, Pure Appl. Geophys. 126(2-4) 319-332, 1988.
- [5] Console R., Montuori C., Murru M. Statistical assessment of seismicity patterns in Italy: Are they precursors of subsequent events?, J. Seismol. 4 435-449, 2000.
- [6] Polat O., Gok E., Yılmaz D. Earthquake hazard of the Aegean Extension region (West Turkey), Turkish Journal of Earth Sciences. 17 593-614, 2008.
- [7] Katsumata K. Precursory seismic quiescence before the Mw=8.3 Tokachi-oki, Japan, earthquake on 26 September 2003 revealed by a re-examined earthquake catalog, J. Geophys. Res. 116 B10307, 2011.
- [8] Öztürk S. Characteristics of Seismic Activity in the Western, Central and Eastern Parts of the North Anatolian Fault Zone, Turkey: Temporal and Spatial Analysis, Acta Geophysica. 59(2) 209-238, 2011.
- [9] Ali S.M. Statistical analysis of seismicity in Egypt and its surroundings, Arab. J. Geosci. 9:52, 2016.
- [10] Öztürk S. Space-time assessing of the earthquake potential in recent years in the eastern Anatolia region of Turkey, Earth Sci. Res. J. 21(2) 67-75, 2017.
- [11] Rodriguez-Perez Q., Zuniga F.R. Imaging *b*-value depth variations within the Cocos and Rivera plates at the Mexican subduction zone, Tectonophysics. 734-735 33-43, 2018.
- [12] Chiba K. Spatial and temporal distributions of *b*-values related to long-term slow-slip and low-frequency earthquakes in the Bungo Channel and Hyuga-nada regions, Japan, Tectonophysics. 757 1-9, 2019
- [13] Bozkurt E. Neotectonics of Turkey-a synthesis, Geodinamica Acta. 14 3-30, 2001.
- [14] Özsayın E., Dirik K. Quaternary activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba fault zones: İnönü-Eskişehir fault system, Central Anatolia, Turk. J. Earth Sci. 16 471-492, 2007.
- [15] Gökten E., Varol B. General geology of the region and seismic sources. In Başokur, A. (eds) Geological-geophysical-geotechnical properties of soils west of the city of Ankara and dynamic behavior, Ankara University, pp.12-32 (in Turkish), 2010.
- [16] Şaroğlu F., Emre O., Kuşçu O. Active fault map of Turkey, General Directorate of Mineral Research and Exploration. Ankara, Turkey, 1992.
- [17] Ulusay R., Tuncay E., Sönmez H., Gökçeoğlu C. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey, Eng. Geol. 74(3-4) 265-291, 2004.
- [18] Wiemer S. A software package to analyze seismicity: ZMAP, Seismological Research Letters. 72(3) 373-382, 2001.
- [19] Reasenber P.A. Second-order moment of Central California seismicity, 1969-1982, J. Geophys. Res. 90(B7) 5479-5495, 1985.
- [20] Wiemer S., Wyss M. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan, B. Seismol. Soc. Am. 90(3) 859-869, 2000.
- [21] Utsu T. Aftershock and earthquake statistic (III): Analyses of the distribution of earthquakes in magnitude, time and space with special consideration to clustering characteristics of earthquake occurrence (1), Journal of Faculty of Science, Hokkaido University. Series VII (Geophysics) 3 379-441, 1971.
- [22] Frohlich C., Davis S. Teleseismic *b*-values: Or, much ado about 1.0, J. Geophys. Res. 98(B1) 631-644, 12993.
- [23] Mogi K. Magnitude-frequency relation for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Tokyo University. 40 831-853, 1962.
- [24] Wiemer S., Wyss M. Seismic quiescence before the Landers (M=7.5) and Big Bear (M = 6.5) 1992 earthquakes, B. Seismol. Soc. Am. 84(3) 900-916, 1994.
- [25] Katsumata K., Kasahara M. Precursory seismic quiescence before the 1994 Kurile Earthquake (Mw=8.3) revealed by three independent seismic catalogs, Pure Appl. Geophys. 155 43-470, 1999.
- [26] Joseph J.D.R., Rao K.B., Anoop M.B. A study on clustered and de-clustered world-wide earthquake data using G-R recurrence law, International Journal of Earth Sciences and Engineering. 4 178-182, 2011.
- [27] Aki K. Maximum likelihood estimate of *b* in the formula $\log N=a-bM$ and its confidence limits, Bulletin of the Earthquake Research Institute. Tokyo University 43 237-239, 1965.
- [28] Çobanoğlu İ., Bozdağ Ş., Dinçer İ., Erol H. Statistical approaches to estimating the recurrence of earthquakes in the Eastern Mediterranean region, İstanbul Univ. Eng. Fac. Earth Sci. J. 19(1) 91-100 (in Turkish with English abstract), 2006.
- [29] Kahraman S., Baran T., Saatçı İ.A., Şalk M. The effect of regional borders when using the Gutenberg-Richter model, case study: Western Anatolia, Pure Appl. Geophys. 165 331-347, 2008.
- [30] Özmen B. Assessment of the statistical earthquake hazard parameters for the Central Anatolia region, Turkey, Arab. J. Geosci. 8 6341-6351, 2015.

A High-Order Accurate Numerical Algorithm for the Numerical Solution of Burgers' Equation

Melis ZORŞAHİN GÖRGÜLÜ¹

¹ Department of Mathematics-Computer, Faculty of Science and Letter, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey

✉: mzorsahin@ogu.edu.tr  0000-0001-7506-4162

Received (Geliş): 18.09.2019

Revision (Düzeltilme): 30.10.2019

Accepted (Kabul): 03.12.2019

ABSTRACT

In this study, a high accurate numerical solution of the Burgers' equation is obtained. For this, the collocation method based on quintic B-spline functions for space discretization and the fourth-order single step method for time discretization are used. In order to see the efficiency of the algorithm, a test problem with an analytical solution is discussed and compared with the numerical solution obtained.

Keywords: Burgers' equation, Collocation method, Fourth order single step method, Quintic B-spline functions

Burgers Denklemine Nümerik Çözümü için Yüksek Dereceden Doğruluklu Nümerik Algoritma

ÖZ

Bu çalışmada, Burgers denkleminin yüksek doğruluklu bir sayısal çözümü elde edilmiştir. Bunun için, konum ayrıştırmasında quintic B-spline fonksiyonlarını temel alan kolokasyon yöntemi ve zaman ayrıştırmasında dördüncü dereceden tek adımlı yöntem kullanılmıştır. Algoritmanın etkinliğini görmek için, analitik çözüme sahip bir test problemi ele alınmış ve elde edilen sayısal çözümler ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Burgers denklemi, Dördüncü dereceden tek adımlı yöntem, Kolokasyon metodu, Kuintik B-spline fonksiyonları

INTRODUCTION

The Burgers equation which is frequently encountered in many sciences such as engineering, theoretical and environmental is as follows:

$$u_t + uu_x - \nu u_{xx} = 0. \quad (1)$$

Although this equation was first proposed by Bateman [1], it is known as Burgers because of his work [2]. Numerical solutions of this equation, used in modelling the solitary wave and travelling waves, have been studied by the researchers due to the limitations in analytical solutions. Numerical solutions, which have been investigated recently, have been obtained by least squares, splitting, homotopy perturbation, finite difference and quadrature methods [3-10]. In parallel with these studies, we used the quintic B-spline collocation method for space and the various-order single step methods for time discretization that were not implemented before. The aim of this study is to see the effectiveness of time discretization for the most accurate numerical solution of the Burgers' equation.

Application of the Methods

The time and space steps are denoted with Δt and h , respectively. The exact solution is represented by

$$u(x_m, t_n) = u_m^n; \quad m = 0, 1, \dots, N; \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

where $x_m = a + mh$, $t_n = n\Delta t$ and the numerical value of u_m^n is shown by U_m^n at the grid points.

Time discretization

Consider the Burgers' equation of the form

$$u_t = \nu u_{xx} - uu_x \quad (2)$$

$$u_{tt} = (\nu u_{xx} - uu_x)_t \\ = 2uu_x u_x + (-4\nu u_x + uu)u_{xx} - 2\nu u u_{xxx} + \nu^2 u_{xxxx} \quad (3)$$

and the following fourth order single step method

$$u^{n+1} = u^n + \theta_1 u_t^{n+1} + \theta_2 u_t^n + \theta_3 u_{tt}^{n+1} + \theta_4 u_{tt}^n. \quad (4)$$

By choosing $\theta_1 = \theta_2 = \frac{\Delta t}{2}$, $\theta_3 = \theta_4 = 0$ in (4), we get the method 1, which is of order 2, known as Crank-Nicolson method. By changing the values as $\theta_1 = \theta_2 = \frac{\Delta t}{2}$, $\theta_3 = -\frac{\Delta t^2}{12}$, $\theta_4 = \frac{\Delta t^2}{12}$, the method 2 which is of order 4 is obtained. Using Eqs. (2) and (3) in (4), the discretized Burgers' equation in time is obtained as

$$u^{n+1} + [\theta_1 u^{n+1} - 2\theta_3 u^{n+1} (u_x)^{n+1}] (u_x)^{n+1} \\ + [4\nu\theta_3 (u_x)^{n+1} - \theta_1 \nu - \theta_3 u^{n+1} u^{n+1}] (u_{xx})^{n+1} \\ + 2\nu\theta_3 u^{n+1} (u_{xxx})^{n+1} - \theta_3 \nu^2 (u_{xxxx})^{n+1} \\ = u^n + [-\theta_2 u^n + 2\theta_4 u^n (u_x)^n] (u_x)^n \quad (5)$$

$$+[-4\nu\theta_4(u_x)^n + \theta_2\nu + \theta_4u^n u^n](u_{xx})^n - 2\nu\theta_4u^n(u_{xxx})^n + \theta_4\nu^2(u_{xxxx})^n.$$

Space discretization

The quintic B-spline function is defined as

$$Q_m(x) = \frac{1}{h^5} \begin{cases} (x - x_{m-3})^5, & [x_{m-3}, x_{m-2}) \\ (x - x_{m-3})^5 - 6(x - x_{m-2})^5, & [x_{m-2}, x_{m-1}) \\ (x - x_{m-3})^5 - 6(x - x_{m-2})^5 + 15(x - x_{m-1})^5, & [x_{m-1}, x_m) \\ (x - x_{m-3})^5 - 6(x - x_{m-2})^5 + 15(x - x_{m-1})^5 - 20(x - x_m)^5, & [x_m, x_{m+1}) \\ (x - x_{m-3})^5 - 6(x - x_{m-2})^5 + 15(x - x_{m-1})^5 - 20(x - x_m)^5 + 15(x - x_{m+1})^5, & [x_{m+1}, x_{m+2}) \\ (x - x_{m-3})^5 - 6(x - x_{m-2})^5 + 15(x - x_{m-1})^5 - 20(x - x_m)^5 + 15(x - x_{m+1})^5 - 6(x - x_{m+2})^5, & [x_{m+2}, x_{m+3}) \\ 0, & otherwise. \end{cases} \quad (6)$$

The approximate solutions $U_N(x, t)$ can be expressed in terms of the quintic B-spline functions as

$$U_N(x, t) = \sum_{j=-2}^{N+2} \delta_j(t)Q_j(x) \quad (7)$$

where $\delta_j, j = -2, -1, 0, 1, \dots, N + 2$ are unknowns time depend parameters to be determined from collocation form of Eq. (5). Over the element $[x_m, x_{m+1}]$, the approximation can be rewritten as

$$U(x, t) = \sum_{j=m-2}^{m+3} \delta_j(t)Q_j(x). \quad (8)$$

The approximate solution and their derivatives at the knots can be found from the Eqs. (6) and (8) as

$$\begin{aligned} U_m &= U(x_m) = \delta_{m+2} + 26\delta_{m+1} + 66\delta_m + 26\delta_{m-1} + \delta_{m-2}, \\ U'_m &= U'(x_m) = \frac{5}{h}(\delta_{m+2} + 10\delta_{m+1} - 10\delta_{m-1} - \delta_{m-2}), \\ U''_m &= U''(x_m) = \frac{20}{h^2}(\delta_{m+2} + 2\delta_{m+1} - 6\delta_m + 2\delta_{m-1} + \delta_{m-2}), \\ U'''_m &= U'''(x_m) = \frac{60}{h^3}(\delta_{m+2} - 2\delta_{m+1} + 2\delta_{m-1} - \delta_{m-2}), \\ U^{(4)}_m &= U^{(4)}(x_m) = \frac{120}{h^4}(\delta_{m+2} - 4\delta_{m+1} + 6\delta_m - 4\delta_{m-1} + \delta_{m-2}). \end{aligned} \quad (9)$$

Substituting (9) into the time discretized form of the proposed equation, we obtain;

$$\begin{aligned} & \left[1 + \beta_1 \left(\frac{-5}{h} \right) + \beta_2 \left(\frac{20}{h^2} \right) + \beta_3 \left(\frac{-60}{h^3} \right) + \beta_4 \left(\frac{120}{h^4} \right) \right] \delta_m^{n+1} \\ & + \left[26 + \beta_1 \left(\frac{-50}{h} \right) + \beta_2 \left(\frac{40}{h^2} \right) + \beta_3 \left(\frac{120}{h^3} \right) + \beta_4 \left(\frac{-480}{h^4} \right) \right] \delta_{m-1}^{n+1} \\ & + \left[66 + \beta_2 \left(\frac{-120}{h^2} \right) + \beta_4 \left(\frac{720}{h^4} \right) \right] \delta_m^{n+1} \\ & + \left[26 + \beta_1 \left(\frac{50}{h} \right) + \beta_2 \left(\frac{40}{h^2} \right) + \beta_3 \left(\frac{-120}{h^3} \right) + \beta_4 \left(\frac{-480}{h^4} \right) \right] \delta_{m+1}^{n+1} \\ & + \left[1 + \beta_1 \left(\frac{5}{h} \right) + \beta_2 \left(\frac{20}{h^2} \right) + \beta_3 \left(\frac{60}{h^3} \right) + \beta_4 \left(\frac{120}{h^4} \right) \right] \delta_{m+2}^{n+1} \\ & = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left[1 + \beta_5 \left(\frac{-5}{h} \right) + \beta_6 \left(\frac{20}{h^2} \right) + \beta_7 \left(\frac{-60}{h^3} \right) + \beta_8 \left(\frac{120}{h^4} \right) \right] \delta_{m-2}^n \\ & + \left[26 + \beta_5 \left(\frac{-50}{h} \right) + \beta_6 \left(\frac{40}{h^2} \right) + \beta_7 \left(\frac{120}{h^3} \right) + \beta_8 \left(\frac{-480}{h^4} \right) \right] \delta_{m-1}^n \\ & + \left[66 + \beta_6 \left(\frac{-120}{h^2} \right) + \beta_8 \left(\frac{720}{h^4} \right) \right] \delta_m^n \\ & + \left[26 + \beta_5 \left(\frac{50}{h} \right) + \beta_6 \left(\frac{40}{h^2} \right) + \beta_7 \left(\frac{-120}{h^3} \right) + \beta_8 \left(\frac{-480}{h^4} \right) \right] \delta_{m+1}^n \\ & + \left[1 + \beta_5 \left(\frac{5}{h} \right) + \beta_6 \left(\frac{20}{h^2} \right) + \beta_7 \left(\frac{60}{h^3} \right) + \beta_8 \left(\frac{120}{h^4} \right) \right] \delta_{m+2}^n \end{aligned} \quad (10)$$

When the above expressions are associated, the system of linear equations, which is $N + 1$ algebraic equations with $N + 5$ unknowns, is obtained. By the help of the conditions $u(a, t) = u_x(a, t) = 0$ and $u(b, t) = u_x(b, t) = 0$, the parameters $\delta_{-2}, \delta_{-1}, \delta_{N+1}$ and δ_{N+2} can be eliminated from the system and the obtained solvable $(N+1) \times (N+1)$ matrix system is solved easily by using Matlab packet program. To start the iteration of system, δ^0 can be determined by using the initial and boundary conditions which will be given in numerical experiment, so then we can obtain the δ^n at time $t_n = n\Delta t$.

Numerical Example

In this part, we applied the proposed methods to one example of nonlinear Burgers' equation. To compute the maximum error L_∞ , we used the following formula:

$$L_\infty = \|u - U_N\|_\infty = \max_j |u_j - (U_N)_j|.$$

The order of convergence is obtained by the following formula:

$$order = \frac{\log \left| \frac{u - U_{\Delta t_n}}{u - U_{\Delta t_{n+1}}} \right|}{\log \left| \frac{\Delta t_n}{\Delta t_{n+1}} \right|}$$

where u is the exact solution and $U_{\Delta t_n}$ is the numerical solution with time step Δt_n .

The exact solution, which models a shock propagation of the Burgers' equation is as

$$u(x, t) = \frac{x/t}{1 + \sqrt{t/t_0 \exp(x^2/(4vt))}}, t \geq 1, \quad (11)$$

where $t_0 = \exp\left(\frac{1}{8\nu}\right)$. With this solution of the Burgers' equation, the sharpness of the shock waves can be simulated by choice of various viscosity values. The initial shock is obtained from Eq. (11) with the choice of $t = 1$. The boundary conditions are taken as $u(0, t) = 0$ and $u(1, t) = u_x(1, t) = 0$. The computations are performed with the parameters $\nu = 0.005, 0.0005, h = 0.001$ and $\Delta t = 0.1, 0.05, 0.02, 0.01, 0.005, 0.002, 0.001$ over the solution domain $[-2, 2]$. The propagation of the shock wave is simulated in Fig. 1 for $\nu = 0.005, h = 0.001$ and $\nu = 0.0005, h = 0.001$ by method 2. The figure shows that the obtained wave for the parameter $\nu = 0.0005$, is steeper than the other.

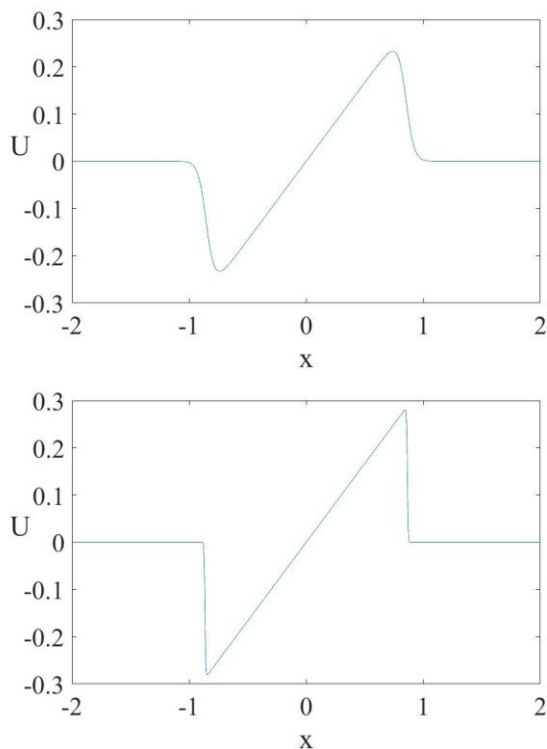


Figure 1. Solutions for $\nu = 0.005, 0.0005$; $\Delta t = h = 0.001$.

The absolute errors profiles of the proposed methods at time $t = 3$ is given in Fig. 2 for various viscosity coefficients. From these figures, as expected, the absolute error increases at the peak of the waves. For this problem, by calculating the L_∞ error norm and the rate of convergence of algorithms, the accuracy of the proposed methods can be seen and compared each other in Table 1. From this table we conclude that the method 2, for finding the shock wave solution of the Burgers' equation, gives better accuracy than the method 1. The rate of convergence for time is around 2 for method 1 and around 4 for method 2.

CONCLUSION

In this paper, an effective algorithm is proposed for the numerical solution of the Burgers' equation. This algorithm is constructed by using the quintic B-spline based collocation method for space discretization and fourth order single-step method for the time discretization. To compare the effect of the time discretization methods, the single step methods which has two different order as 2 and 4 is chosen and the obtained solutions are compared with the those of a test problem which has an exact solution. By this study it is concluded that the fourth order single step method which used for the time discretization gives the better solutions than the Crank-Nicolson method.

ACKNOWLEDGMENT

This paper is presented at the Recent Advances in Mathematical and Engineering Sciences- International

Mathematics and Engineering Conference (RAIMS-LVIV).

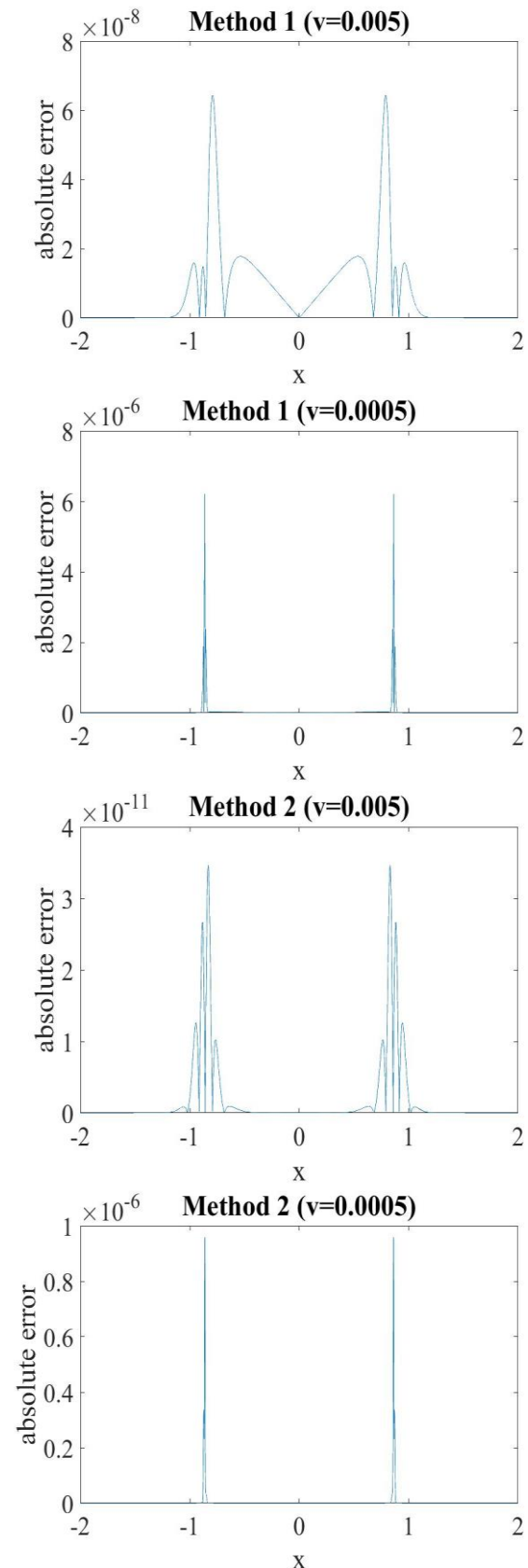


Figure 2. Errors for $\nu = 0.005, 0.0005$; $\Delta t = h = 0.001$

Table 1. Comparison of numerical results at different times for $h = 0.001$.

Method 1		Method 2		
$\nu = 0.005$				
Δt	L_∞	order	L_∞	order
0.1	5.76×10^{-4}		1.20×10^{-4}	
0.05	1.54×10^{-4}	1.908	1.38×10^{-5}	3.123
0.02	2.55×10^{-5}	1.960	5.48×10^{-7}	3.521
0.01	6.42×10^{-6}	1.989	4.08×10^{-8}	3.748
0.005	1.61×10^{-6}	1.997	2.89×10^{-9}	3.820
0.002	2.58×10^{-7}	1.999	1.08×10^{-10}	3.590
0.001	6.44×10^{-8}	2.000	3.46×10^{-11}	1.637

$\nu = 0.0005$				
Δt	L_∞	order	L_∞	order
0.1	2.32×10^{-1}		2.05×10^{-1}	
0.05	1.44×10^{-1}	0.692	9.36×10^{-2}	1.132
0.02	2.36×10^{-2}	1.973	1.53×10^{-2}	1.974
0.01	3.39×10^{-3}	2.800	2.32×10^{-3}	2.725
0.005	4.17×10^{-4}	3.024	2.52×10^{-4}	3.203
0.002	3.18×10^{-5}	2.807	9.79×10^{-6}	3.544
0.001	6.20×10^{-6}	2.360	9.59×10^{-7}	3.352

REFERENCES

[1] Bateman H. Some recent researches on the motion of the fluids, Monthly Weather Review. 43 163-70, 1915.
 [2] Burgers J.M. A mathematical model illustrating the theory of turbulence, Advances in Applied Mechanics. 1 171-199, 1948.
 [3] Yang X., Ge Y., Zhang L. A class of high-order compact difference schemes for solving the Burgers' equations, Applied Mathematics and Computation. 358 394-417, 2019.
 [4] Fu F., Li J., Lin J., Guan Y., Gao F., Zhang C., Chen L. Moving least squares particle hydrodynamics method for Burgers' equation, Applied Mathematics and Computation. 356 362-378, 2019.
 [5] Sari M., Tunc H., Seydaoglu M. Higher order splitting approaches in analysis of the Burgers equation, Kuwait Journal of Science. 46 1-14, 2019.
 [6] Rathore S., Saraswat G.K. Homotopy perturbation approach to the solution of non-linear Burgers's equation, International Journal of Mathematics and its Applications. 6 203-211, 2018.
 [7] Mohamed N.A. Fully implicit scheme for solving Burgers' equation based on finite difference method. The Egyptian International Journal of Engineering Sciences Technology. 26 38-44, 2018
 [8] Aswin V.S., Awasthi A., Rashidi M.M. A differential quadrature based numerical method for highly accurate



solutions of Burgers' equation, Numerical Methods for Partial Differential Equations. 33 2023-2042, 2017.
 [9] Tamsir M., Srivastava V.K., Jiwari R. An algorithm based on exponential modified cubic B-spline differential quadrature method for nonlinear Burgers' equation, Applied Mathematics and Computation. 290 111-124, 2016.
 [10] Zorsahin Gorgulu M., Dag I., Irk D. Wave Propagation by Way of Exponential B-Spline Galerkin Method, Journal of Physics: Conference Series. 766 1-6, 2016.

İki Ucu Ankastre U Çerçeve Yapının Modal Analizi

Mesut HÜSEYİNOĞLU¹, Tayfun ABUT²

¹Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye

²Makine Mühendisliği, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye

✉: mesuth@dicle.edu.tr  0000-0002-6130-6658, Tayfun ABUT  0000-0003-4646-3345

Geliş (Received): 24.10.2019

Düzeltilme (Revision): 03.12.2019

Kabul (Accepted): 05.12.2019

ÖZ

Endüstride kullanılan birçok makine elemanın dinamik davranışlarının belirlenmesi, yapının güvenli bir şekilde çalışması ve makinenin performansı açısından oldukça önemli bir konudur. Modal analiz tekniği yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada iki ucu ankastre bir U çerçeve yapının teorik ve deneysel modal analizleri gerçekleştirilmiştir. Teorik modal analiz ANSYS programı kullanılarak yapılmıştır. Deneysel modal analiz ise OROS Or36 titreşim analizörü ve OROS modal analiz yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve ANSYS'te oluşturulan modelin deneysel modeli başarılı bir şekilde temsil ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Modal Analiz, Çerçeve Yapılar, Sonlu Elemanlar, Titreşim Ölçümü

Modal Analysis of a Clamped-Clamped U Frame Structure

ABSTRACT

Determining of dynamic behaviours of the many machine elements used in the industry is an important issue in terms of the safe operation of the structure and the performance of the machine. Modal analysis method is widely used to determine the dynamic properties of the structures. In this study, theoretical and experimental modal analyses of a clamped-clamped U frame. Theoretical modal analysis is performed using ANSYS programme. Experimental modal analysis is performed with OROS Or36 vibration analyser and OROS modal analysis software. The results obtained from experimental and theoretical studies were compared and it was found that the model created in ANSYS successfully represented the experimental model.

Keywords: Modal Analysis, Frame Structures, Finite Elements, Vibration Measurement

GİRİŞ

Titreşim hareketi yapının denge konumu etrafında tekrarlanan hareketi olarak tanımlanabilir. Dinamik yükler etkisi altında çalışan sistemlerde de tekrarlı bir hareket olan titreşim hareketi meydana gelmektedir. Mekanik titreşimler mühendislik yapılarının çoğunda önemli problemlere neden olabilmektedir. Uzun süreli titreşimler makine elemanın yorulmasına neden olabileceği gibi yüksek genlikteki titreşimler de hasar ve kırılmalara neden olabilmektedir. Bu nedenle endüstride kullanılan birçok yapı elemanın dinamik yükler etkisi altında nasıl bir davranış gösterdiği, sistemin güvenli bir şekilde çalışması ve performansı açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla incelenen yapının doğal frekansları, yapısal sönümü ve titreşim biçimleri elde edilerek gerekli dinamik analizler yapılmalıdır. Yapılan dinamik analizler sonucunda istenmeyen titreşimleri azaltmak için titreşim kaynağını durdurmak veya sistem üzerinde yapısal değişiklikler yapmak gereklidir. Bunların sağlanamadığı durumlarda ise titreşim kaynağının sistem üzerine olan etkisini azaltmak için

uygun bir titreşim yalıtım sistemi tasarlanabilir. Titreşim yalıtımını gerçekleştirebilmek için titreşim kaynağı ve yapı arasına sönüm kabiliyeti yüksek malzemeler yerleştirilir veya uygun dinamik titreşim sönümleyicileri tasarlanır.

Sonlu Elemanlar (SE) yöntemi yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesinde oldukça etkili bir şekilde kullanılmaktadır. SE metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle genel çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. SE metodu oldukça sistematik ve modülerdir. Bundan dolayı SE metodu, bir bilgisayar programı hazırlanarak geniş alandaki pratik titreşim problemlerinin çözümü için kolaylıkla bir bilgisayara uygulanabilmektedir. Günümüzde çok sayıda ticari SE yazılımları mevcuttur ve bu yazılımlar normal bilgisayarlardan süper bilgisayarlara kadar hemen hemen her tip bilgisayarda çalıştırılabilmektedir. SE yöntemi ile bir sistemin analizi iki adımda gerçekleştirilir. Birinci adım, tasarımı gerçekleştirilmiş yapının sonlu sayıda küçük temel parçalara

bölünmesidir. Bu küçük parçalara sonlu elemanlar ve yapının sonlu elemanlara bölünmesi işlemine ise ayrıklaştırma adı verilmektedir. Her eleman, hareket denkleminin kolay bir şekilde çözülebilmesi veya yaklaşımın kolay uygulanabilmesi için genellikle kolon, kiriş veya plak gibi çok temel şekildedir. Tüm bu elemanların geometrik ve fiziksel özellikleri dikkate alınarak çözüm aşamalarının belirlenmesi ve sistemin tümüyle analizlerinin gerçekleştirilmesi ikinci adımı oluşturmaktadır [1].

Modal analiz tekniği, yapıların dinamik özelliklerin belirlenmesi amacıyla birçok araştırmaya çalışma konusu olmuştur. Chen ve Ding [2], elastik bir küresel kabuk yapının serbest titreşimleri için modal analiz tekniğini kullanmışlardır. Bu amaçla, yazarlar tarafından geliştirilen üç boyutlu esneklik çözüm yöntemi kullanılmıştır [3]. Wu ve Heyliger [4], tabakalı piezoelektrik küresel kabukların simetrik ve simetrik olmayan eksenel titreşimleri için iki boyutlu birinci dereceden kaymalı deforme olabilen kabuk teorisi kullanarak modal analiz tekniğini uygulamışlardır. Lee [5], küresel kapakların simetrik ve simetrik olmayan eksenel serbest titreşimlerinin analizinde psödospektral yöntemi kullanmıştır. Krawczuk vd. [6], çatlak ve tek yönlü kompozit kirişin modal analizini yapmışlardır. Enine yorulma çatlakları içeren kompozit kirişin karakteristik matrislerini oluşturmak için bir model sunmuşlardır. Bu model ile çatlak parametreleri (konum ve bağlı derinlik) ve malzeme parametrelerinin (bağlı hacim ve elyaf açısı) ilk dört doğal frekans üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Maurinia vd. [7] kademeli piezoelektrik kirişlerin modal analizi için sayısal yöntemler üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada, Euler-Bernoulli kiriş teorisi kullanılarak modellenen kademeli piezoelektrik kirişler, modal analiz için farklı sayısal yöntemleri analiz etmek amacıyla kullanılmıştır. Hee vd. [8], konsol kirişlerinin modal analizini, şekil ve şekil optimizasyonu üzerinden incelemişlerdir. Gao [9], fiziksel sistem parametrelerini dikkate alarak kafes yapıların modal analizini incelemiştir. Xu ve Zhang [10], bağlantı damperleri olan çelik çerçevelerin modal analizi ve sismik tepkisini araştırmışlardır. Sırasıyla, döner uçlu yay ve sönümleyici olarak civatalı bağlantıları ve sönümleyicileri iyileştirmek için SE ve dirençlilik yöntemlerinin bir kombinasyonunu kullanarak çerçeve için kütle, dirençlilik ve sönüm matrislerini türetmişlerdir. Karmaşık mod analizi kullanılarak, çerçevenin dinamik özellikleri analiz edilmiş ve bağlantı sertliği ile dönme sönümleyicisinin doğal frekans ve modal sönüm oranına etkileri incelenmiştir. Chan [11], esnek biçimde bağlı çelik çerçevelerin daha genel bir titreşim ve kararlılık analizini kapsayan çerçeveli yapıların analizleri için dirençlilik matrisi analiz yönteminin genişletilmesine yönelik bir çalışma sunmuştur. Bu çalışmada ise U çerçeve bir yapının teorik ve deneysel modal analizleri yapılarak sonuçlar karşılaştırmalı bir şekilde sunulmuştur.

MATERYAL ve YÖNTEM

Teorik Modal Analiz

Çok serbestlik dereceli (SD'li) bir sistemin zorlanmış titreşim cevabının elde edilmesi, dinamik dirençlilik $[Z]$ 'nin tersinin ($[H] = [Z]^{-1} = [-\omega^2 [M] + [K]]^{-1}$) her ω frekans noktası için hesaplanması ile mümkün olmaktadır. Bu durum oldukça zaman alan zahmetli bir işlemdir. Modal analiz, dinamik analiz işlemlerinde bu olumsuzlukları kayda değer bir biçimde azaltan etkili bir yöntemdir. Bu yöntem titreşim hareketi yapan bir sistemin dinamik davranışını gösteren matematik modeli oluşturmak için ihtiyaç duyulan modal parametrelerin belirlenmesi işlemidir. Sönümsüz bir sistemin modal parametreleri öz değerler (doğal frekansların karesi) ve öz vektörlerden (mod şekilleri) oluşmaktadır. Eğer yapı üzerinde herhangi bir zorlayıcı kuvvet yoksa ($\{f(t)\} = \{0\}$) yapı doğal titreşim yapmaktadır ve bu durumdaki öz değerler ve öz vektörler yapının doğal veya normal modları olarak adlandırılmaktadır [12].

Sönümsüz yapıların titreşimine ait hareket denkleminin çözümü için $\{x(t)\} = \{X\} e^{i\omega t}$ çözümü dikkate alınacak olursa;

$$(-\omega^2 [M] + [K]) \{X\} e^{i\omega t} = \{F\} e^{i\omega t} \quad (1)$$

elde edilir. Yapının normal modlarının dikkate alınmasıyla, $\{F\} = \{0\}$ olacağından çözüm aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$(-\omega^2 [M] + [K]) \{X\} = \{0\} \quad (2)$$

Bu denklemde N SD'li bir sistem için N mod sayısı mevcuttur. Eğer mod şekilleri ve doğal frekanslar sırası ile $\{\psi\}_r$ ve ω_r ile gösterilecek olursa;

$$(-\omega_r^2 [M] + [K]) \{\psi\}_r = \{0\} \quad (3)$$

$r = 1, 2, 3, \dots, N$

eşitliği elde edilir. Ayrıca r modunun öz değeri, $\lambda_r = \omega_r^2$ ile gösterilmektedir. Modal analizde N tane mod dikkate alınarak oluşturulan model "Modal Model" olarak adlandırılmaktadır [7]. Bu durumda öz değerler ve öz vektörler aşağıdaki gibi $N \times N$ boyutunda matrisler olarak ifade edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ & \lambda_r & \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}_{N \times N} \quad [\Psi]_{N \times N} \quad (4)$$

Eşitlik (4) ile verilen öz değerler ve öz vektörlerin çözümünü yapabilmek için bazı sayısal yöntemler mevcuttur. SD'si küçük olan ($N < 1000$) sistemler için, tüm sistem matrisleri belirlenir ve tüm modlar dikkate alınarak çözüm yapılır [13]. Ancak pratik uygulamalarda, SD çok fazladır ($N \gg 1000$) ve bu durumlarda sadece N modun m kısmını içeren kısmi çözümler yapılır [14].

Öz değer ve öz vektör çözümlerinin hesaplanması oldukça zahmetli bir iş olmasına rağmen modal model iyi bilinen ortogonalite özelliğine sahiptir ve bu durum sistemin analizini büyük ölçüde basitleştirmektedir. Mod şekillerinin ortogonalitesi kısaca (5) eşitliğindeki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} [\Psi]^T [M] [\Psi] &= \begin{bmatrix} \ddots & & & \\ & m_r & & \\ & & \ddots & \\ & & & \ddots \end{bmatrix} \\ [\Psi]^T [K] [\Psi] &= \begin{bmatrix} \ddots & & & \\ & k_r & & \\ & & \ddots & \\ & & & \ddots \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

Öz vektör matrisi sistemin kütle, $[M]$ ve direngenlik, $[K]$ matrislerini modal kütle, m_r ve modal direngenlik, k_r şeklinde diyagonal matrisler haline getirmektedir. Bu diyagonal modal kütle ve direngenlik matrisleri kullanılarak aşağıdaki gibi öz değerler elde edilebilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \ddots & & & \\ & \lambda_r & & \\ & & \ddots & \\ & & & \ddots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ddots & & & \\ & m_r & & \\ & & \ddots & \\ & & & \ddots \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \ddots & & & \\ & k_r & & \\ & & \ddots & \\ & & & \ddots \end{bmatrix} \quad (6)$$

Her öz vektör kendi doğal frekansına karşılık gelen bir takım bağıl yer değiştirmelerden oluşmaktadır.

Mod şekilleri, $\{\psi\}_r$, modal kütleleri, m_r ve direngenlikleri, k_r elde etmek için öz vektörler genellikle aşağıdaki gibi kütle ile normalize edilirler.

$$\begin{aligned} \{\phi\}_r &= \frac{1}{\sqrt{m_r}} \{\psi\}_r \\ [\Phi] &= \begin{bmatrix} \ddots & & & \\ & m_r & & \\ & & \ddots & \\ & & & \ddots \end{bmatrix}^{1/2} [\Psi] \end{aligned} \quad (7)$$

Bu durumda kütle ile normalize edilmiş öz vektörler kullanılarak aşağıdaki eşitlikler elde edilebilmektedir.

$$\begin{aligned} [\Phi]^T [M] [\Phi] &= [I] \\ [\Phi]^T [K] [\Phi] &= \begin{bmatrix} \ddots & & & \\ & \lambda_r & & \\ & & \ddots & \\ & & & \ddots \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

Kütle ile normalize edilmiş mod şekilleri yapısal dinamik analizlerinde işlem kolaylığı sağladığı için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Fiziksel koordinatlardan, $x\{t\}$, birbirinden tamamen bağımsız modal alandaki yeni koordinatlara, $q\{t\}$, geçiş yapılması durumunda hareket denklemi aşağıdaki gibi olacaktır [15].

$$\{\ddot{q}(t)\} + \begin{bmatrix} \ddots & & & \\ & \lambda_r & & \\ & & \ddots & \\ & & & \ddots \end{bmatrix} \{q(t)\} = [\Phi]^T \{f(t)\} \quad (9)$$

Fiziksel yer değiştirmeler ve modal koordinatlar arasında ise $\{x(t)\} = [\Phi] \{q(t)\}$ ilişkisi mevcuttur [15].

Yapılan bazı ölçümler, bazı modların diğerlerinden daha güçlü olduğunu göstermektedir. Bir ölçümdeki modların yapısı, tahrik kuvvetlerinin konumu ve dağılımına bağlı olarak değişebilmektedir. Bu durumda bir yapı herhangi bir noktadan tahrik edilmesi durumunda ölçümdeki tüm modların görülmesi mümkün olmayacaktır. Bu nedenle fiziksel kuvvet vektörü modal koordinatlara dağıtılarak aşağıdaki gibi modal kuvvet vektörü elde edilebilir [15].

$$\{f_q(t)\} = [\Phi]^T \{f(t)\} \quad (10)$$

Görüldüğü gibi modal koordinatlar birbirinden tamamen bağımsızdır ve her koordinat tek SD'li bir sistem gibi düşünülebilir. Eğer modal kuvvet vektörü, $\{f_q(t)\}$, bazı koordinatlarda küçük değerlere sahip olursa bu koordinatlara karşılık gelen modlar diğerlerinden daha az tahrik edilmiş demektir. Modal kuvvetin sıfır veya sıfıra çok yakın olması durumunda ise ilgili modlar hiçbir şekilde tahrik edilmemiş olacaktır. Eğer analitik model tahminleri yeterli derecede ölçüm sonuçlarına yakın olursa, modal kuvvet vektörü, ilgili modları tahrik eden kuvvet vektörlerini tanımlamak için kullanılabilir. Lineer bir yapının harmonik bir kuvvet vasıtasıyla tahrik edilmesi halinde (1) eşitliği ile verilen hareket denkleminin dinamik esneklik tipindeki (receptance) FTF matrisi, $[\alpha(\omega)]$ ($[H(\omega)]$), aşağıdaki gibi olacaktır.

$$[-\omega^2 [M] + [K]]^{-1} = [\alpha(\omega)] \quad (11)$$

Burada, $[\alpha(\omega)]$ matrisinin elemanları, $\alpha_{ij}(\omega) = X_i(\omega) / F_j(\omega)$ eşitliği ile j koordinatından uygulanan tahrik kuvvetine karşılık i koordinatında meydana gelen yer değiştirme miktarının oranı şeklinde verilmektedir. Dinamik esneklik tipindeki FTF matrisi $[K]$ ve $[M]$ gibi simetriktir ve bu simetri karşılıklılık ilkesine göre $\alpha_{ij}(\omega) = \alpha_{ji}(\omega)$ şeklinde verilmektedir. Frekans noktalarının, ω , sayısına göre dinamik esneklik tipindeki FTF'ler, (11) eşitliğinin doğrudan çözümünden elde edilebilir. Ancak her frekans noktası için tüm sistemin matris tersine ihtiyaç olduğu için bu durum oldukça zahmetli ve zaman alıcı bir işlem olmaktadır. Böyle durumlarda modal özelliklerin kullanılması oldukça avantajlıdır. Bazı cebirsel işlemlerden sonra mod şekilleri ve öz değerler kullanılarak (11) eşitliği aşağıdaki gibi elde edilebilir [12].

$$[\alpha(\omega)] = [\Phi] \begin{bmatrix} \ddots & & & \\ & (\omega_r^2 - \omega^2) & & \\ & & \ddots & \\ & & & \ddots \end{bmatrix}^{-1} [\Phi]^T \quad (12)$$

Eşitlik (12)'de diyagonal bir matrisin tersi alındığı için cevap matrisinin hesaplanma süresi oldukça kısalmaktadır. Buradan hareketle dinamik esneklik tipindeki FTF'ler aşağıdaki gibi modların toplam şeklinde hesaplanabilir [15].

$$\alpha_{ij}(\omega) = \sum_{r=1}^N \frac{\phi_{ir}\phi_{jr}}{\omega_r^2 - \omega^2} \quad (13)$$

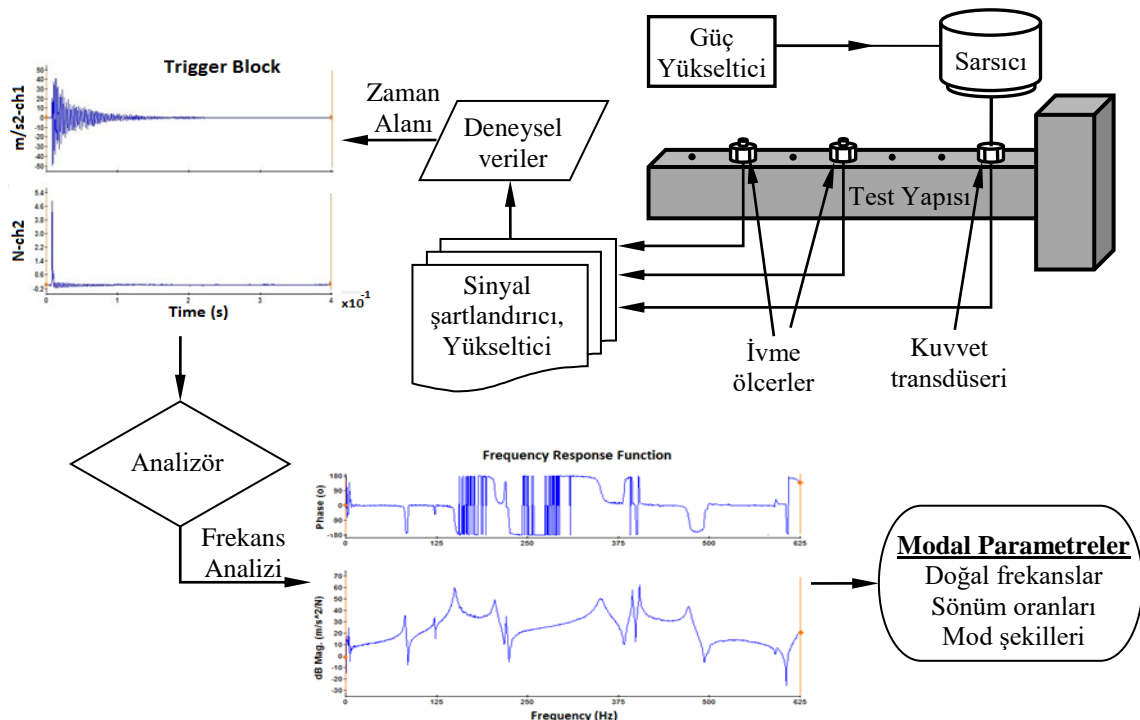
Burada N mod sayısına göre i ve j , sırasıyla r modunun öz vektörlerindeki cevap ve tahrik koordinatlarını göstermektedir [15].

Literatürde, büyük yapıların modal analizinde incelenen mod sayısının az sayıda modla sınırlandırılması ve bu sayının, n , toplam mod sayısından, N , çok küçük ($n \ll N$) olması gerektiği vurgulanmıştır [15]. Hesaplanan mod sayısı, n , genellikle yapılan analizin amacına bağlı olarak belirlenir ve tasarım için önemli olan sadece ilk 3 veya 4 modun sayısı kadar olmaktadır. Ancak bazı durumlarda ise bu sayı ilgilenilen frekans aralığındaki belli modların dikkate alınmasıyla belirlenmektedir.

Deneyel Modal Analiz

Mühendislik yapılarının tasarımında oluşturulan matematiksel modellerde yapılan yaklaşımların bir sonucu olarak bu modellerden elde edilen sonuçların deneyel olarak doğrulanması tasarım sürecinde önemli bir rol oynamaktadır.

Temel olarak iki çeşit titreşim ölçümü mevcuttur. Bunlardan ilki bir yapının çalışma ortamında sadece titreşim cevabının ölçülmesidir. İkincisi ise yapıya uygulanan bir girişe karşılık yapının verdiği cevabın birlikte ölçülmesidir [12]. Özellikle, yapı üzerine uygulanan girişe karşılık cevabın ölçülmesi yapının ölçülen frekans tepki fonksiyonlarının (FTF'lerinin) belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu işlem sayesinde test yapısının doğal frekansları ve mod şekilleri belirlenebildiği gibi yapının matematik modelinin doğrulanması işlemi de gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 1. Deneyel modal analiz ölçüm düzeni

Deneysel modal analizde yapılan deneylerin amacına bağlı olarak, modal analiz veya modal tanımlama işlemi incelenen yapının modal özelliklerinin bulunmasıyla gerçekleştirilmektedir. Burada yapı üzerinde belirli noktalardan tahrik kuvveti uygulanır ve yapının bu etkiye verdiği cevap ölçülerek aradaki transfer fonksiyonları uygun bir titreşim analizörü kullanılarak elde edilmeye çalışılır (Şekil 1). Elde edilen ölçümlerden modal parametrelerin ayıklanması için oluşturulan algoritmalar oldukça zaman alan yoğun uğraşlar sonucunda geliştirilmiştir. Modal parametrelerin elde edilme yöntemleri ve bazı pratik uygulamaları Ewins [12] tarafından detaylı olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada hem cevap hem de tahrik kuvvetinin eş zamanlı ölçüldüğü ve buna göre yapının dinamik özelliklerinin belirlendiği ölçüm tekniği kullanılmıştır. Titreşim testi konusunda bu yöntemle ilgili farklı yaklaşımlar ifade edilmiştir [12]. Bunlardan biri yapının tek noktadan tahrik edilmesine dayalı ölçüm metodudur. Diğeri ise yapının eş zamanlı olarak birkaç noktasından tahrik edilmesine dayalı ölçüm tekniğidir.

Deneysel modal analizde iki temel tahrik tipi mevcuttur. Bunlar, test aşamasındaki bir yapının darbe çekici veya üzerine bağlanan bir sarsıcı yardımıyla tahrik edilmesi şeklindedir. Test yapısına uygulanan tahrik kuvvetine karşılık yapının verdiği cevap ise ivme, hız veya deplasman transdüserleri gibi elemanlar yardımıyla ölçülmektedir. İvmeölçerler, geniş frekans ve dinamik aralığa sahip ve nispeten ufak yapıda olması sebebiyle en genel amaçlı transdüserlerdir. Hız transdüseri, çoğunlukla orta frekans bölgesini içeren izleme sistemlerinde kullanılmaktadır. Deplasman transdüseri ise özellikle düşük frekanslı deplasman ölçümünün gerektiği eksen kaçıklığı gibi ölçümlerde faydalı olmaktadır. Bu transdüserlerde ölçüm tek eksenle alındığı gibi iki veya üç eksenle ölçüm yapabilen tipleri de mevcuttur.

FTF, titreşim testlerinden elde edilen ve çok geniş bir uygulama alanı olan önemli bir fonksiyondur. Bu fonksiyon, uygulanan bir kuvvete karşı lineer bir yapının gösterdiği tepkiyi ifade eder. Diğeri bir ifadeyle yapıya uygulanan kuvvet ile yapının gösterdiği tepki arasındaki lineer ilişkiyi verir (Şekil 2).

Lineer yapı üzerindeki q konumundan genliği F ve frekansı ω olan sinüsoidal bir kuvvet uygulandığı zaman yapı bu kuvvete bir tepki gösterecek ve kararlı duruma

geçtikten sonra aynı frekansta titreşecektir. Yapı üzerindeki herhangi bir p noktasının bu frekanstaki yer değiştirmesi de (hız veya ivme de olabilir) X olsun. Bu frekans için FTF'nin genliği,

$$|H_{pq}(\omega)| = \frac{|X_p|}{|F_q|} \quad (14)$$

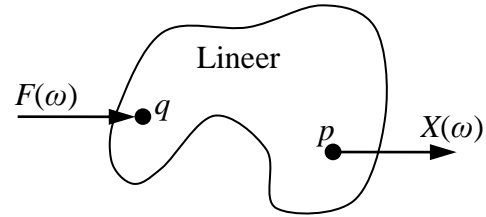
ile ifade edilir. FTF'nin fazı ise yer değiştirme ve kuvvet arasındaki açı ile ifade edilmektedir.

$$\angle H_{pq}(\omega) = \angle \alpha_{pq}(\omega) = \angle X_p - \angle F_q = \theta_\alpha \quad (15)$$

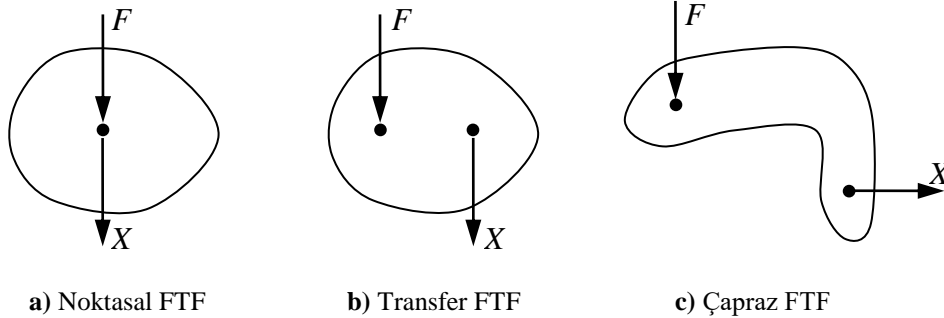
FTF, frekansın bir fonksiyondur. Bu nedenle uygulanan kuvvetin frekansı değiştikçe FTF'nin genliği ve fazı da değişir. Bir FTF, yapıya farklı frekanslarda sinüsoidal kuvvetler uygulanıp her frekansta kuvvet ve tepkilerin genlik ve fazları ölçülerek elde edilebilir.

Yapı üzerindeki kuvvet ve tepki konumları ölçülen FTF'nin türünü belirlemektedir. Bu bağlamda bir FTF yapı üzerinde aynı konum ve doğrultuda ölçülen kuvvet ve tepkiden hesaplanmış ise '*noktasal FTF*' (point FRF) olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3-a). Kuvvet ve tepki doğrultularının aynı ancak konumlarının birbirinden farklı olması durumu '*transfer FTF*' olarak adlandırılır (Şekil 3-b). Bunlara alternatif olarak ölçümler farklı doğrultu ve yönlerde de yapılabilir. Böyle hesaplanan FTF'lere '*çapraz FTF*' (cross FRF) denilmektedir (Şekil 3-c).

FTF ölçümlerinde tepki olarak yer değiştirme dikkate alındığı gibi hız ve ivme büyüklükleri de kullanılabilir.



Şekil 2. Lineer bir yapının uygulanan kuvvete karşı gösterdiği tepki



Şekil 3. Kuvvet ve tepki konumlarına göre FTF'ler

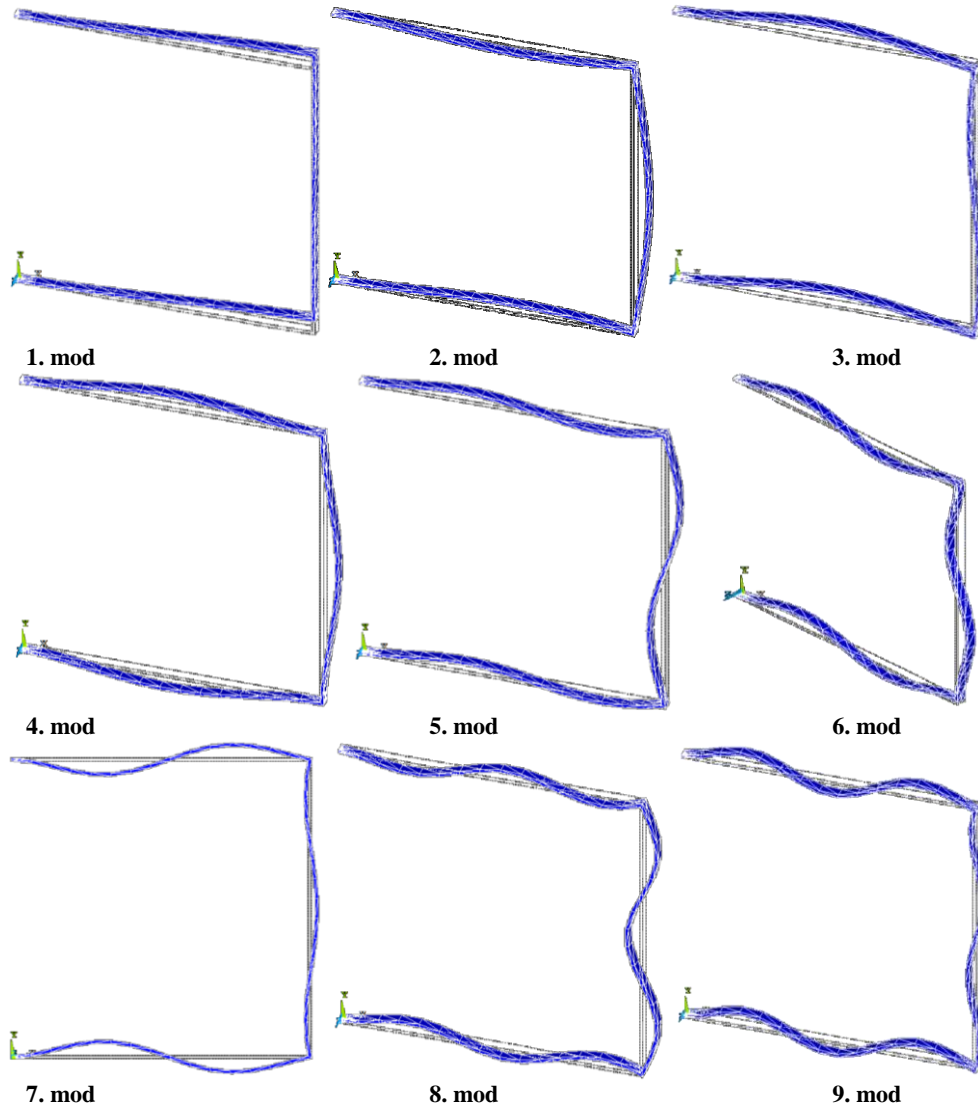
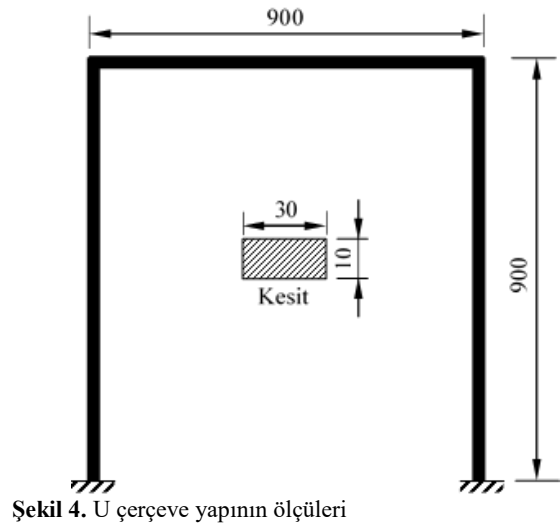
TARTIŞMA

Sayısal Model

Bu çalışmada dikkate alınan U çerçeve yapının ölçüleri ve mesnet durumları Şekil 4'te verilmiştir.

Ölçüleri Şekil 4'te verilen U çerçevenin SE modeli BEAM188 (6 SD'li 3 boyutlu elastik eleman) eleman tipi kullanılarak ANSYS'de oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin modal analizi ilk 9 mod dikkate alınarak 0-500 Hz frekans aralığında yapılmıştır. Modal analiz için 'PCG Lanczos' algoritması kullanılmış ve analiz sonucunda elde edilen mod şekilleri ve doğal frekanslar sırası ile Şekil 5 ve Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1'den görüleceği üzere U çerçevenin SE modeline ait doğal frekanslar 8.81 Hz ile 292.71 Hz arasında değişmektedir.



Şekil 5. U çerçevenin sayısal modeline ait mod şekilleri

Tablo 1. U çerçevenin SE modeline ait doğal frekanslar

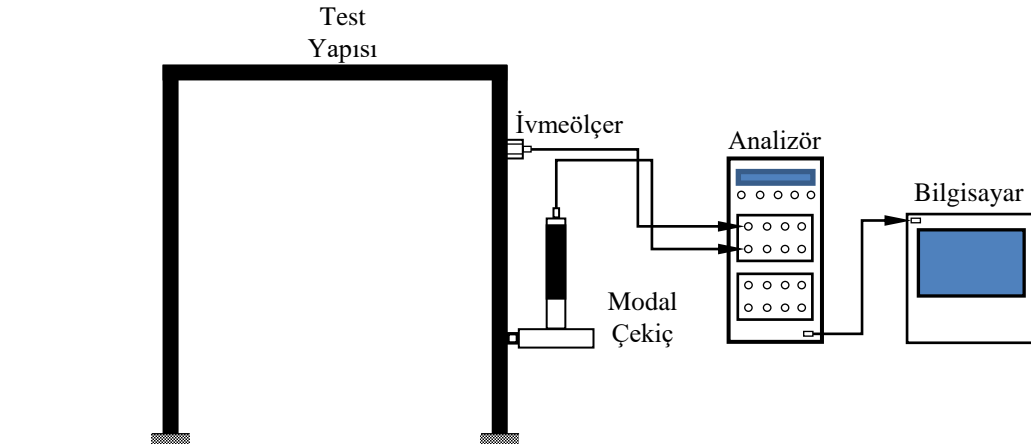
Mod	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Doğal Frekans (Hz)	8.81	37.36	58.40	62.46	145.46	166.58	188.49	235.09	292.71

Deneysel Model

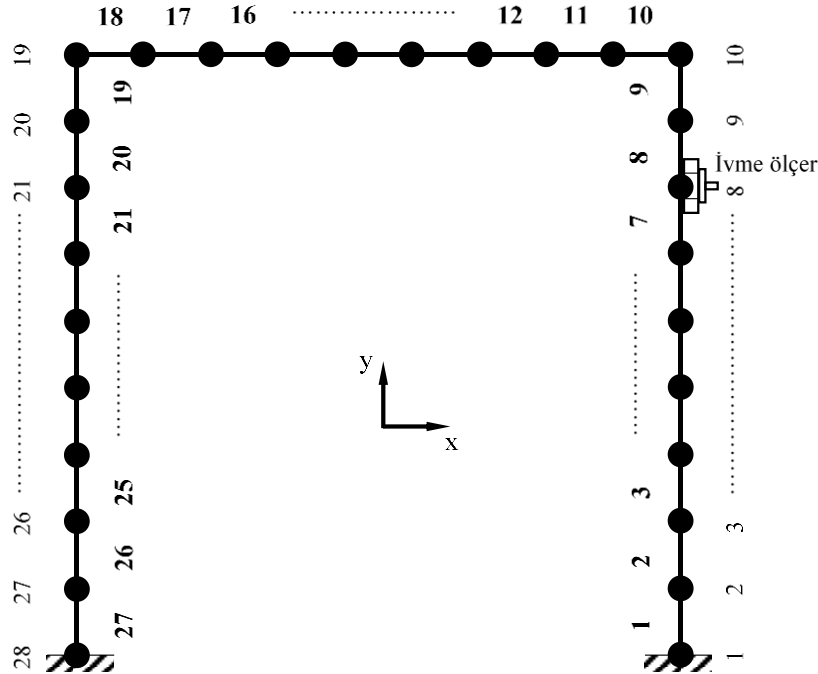
U çerçevesinin deneysel modal analizi için yapılan ölçümlerde yapıyı titreştirmek için KISTLER firmasının ürettiği darbe çekici (Model: 9724A2000 S/N 2069942) ve yapının titreşimlerini ölçmek için Dytran firmasının ürettiği ICP tipi piezoelektrik ivmeölçer (3055 D serisi) kullanılmıştır. Ölçülen titreşim sinyallerinin toplanması ve analiz edilmesi için OROS firmasının Or36 serisi titreşim analizörü ve parametrelerin belirlenmesi için OROS Modal yazılımı kullanıldı. Deneysel modal analiz için gerekli yazılım ve donanımlar belirlendikten sonra deney planlaması yapıldı. Deneysel planlamada amaç ölçülmek istenen frekans aralığına uygun tahrik ve cevap noktalarını

belirlemektir. Yapının ölçülmek istenen frekans aralığındaki modlarda en çok hareket eden bölgeler en iyi ölçüm noktaları olarak değerlendirilmektedir. Modlardaki düğüm noktalarında (nodal point) hareket olmadığından bu noktalar en kötü ölçüm noktalarıdır. Benzer durum tahrik noktalarının belirlenmesi için de geçerlidir. Çalışma kapsamında hazırlanan deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 6'da görülmektedir.

U çerçevesinin deneysel modeli toplam 28 düğüm ve 27 elemandan oluşacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 7). Deneysel çalışmada kullanılan ölçüm parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 6. Deneysel düzeneği



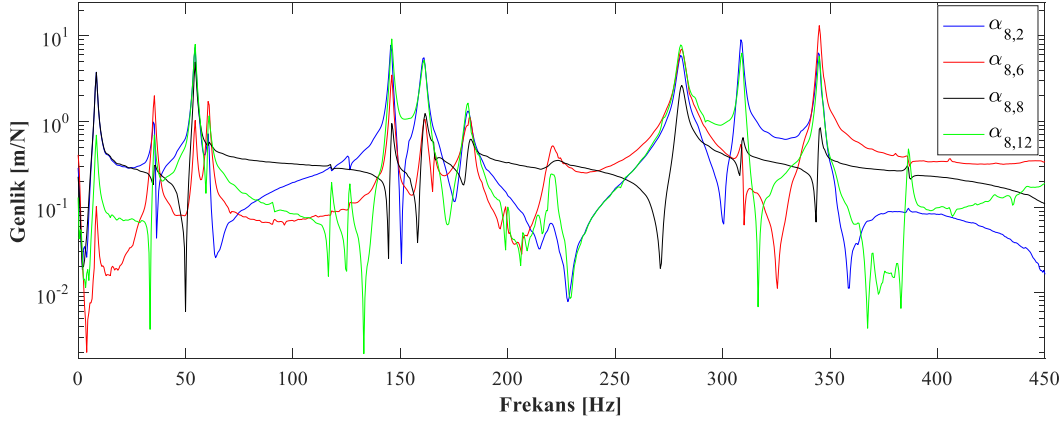
Şekil 7. U çerçevesinin deneysel model

Tablo 2. Deneysel modal analiz için kullanılan ölçüm parametreleri

Parametre	Frekans Genişliği (Hz)	Frekans Çözünürlüğü (Hz)	Örnekleme Frekansı (Hz)	Ölçüm Süresi (sn)	Pencerleme (cevap/tahrik)
Değeri	0-500	0.1	1001	2	uniform/uniform

Deneysel, U çerçeve yapının 8. düğümüne ivmeölçer yerleştirilip, her bir düğümüne modal çekiçle darbe uygulanarak ilgili düğüm noktaları için FTF'ler elde

edilmiştir. Deneysel modelin bazı koordinatlarına ait FTF'ler Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Deneysel modelin bazı koordinatlarına ait FTF'ler

Şekil 8'de verilen FTF grafiklerindeki maksimum genliklere karşılık gelen noktalar rezonans frekanslarını (doğal frekanslar), minimum genlik değerlerine karşılık gelen noktalar ise anti rezonans frekanslarını

göstermektedir. Bu şekilde 28 adet FTF ölçüldü ve ilk 9 mod için doğal frekanslar belirlendi. Deneysel ve sayısal modellerin doğal frekansları karşılaştırmalı olarak Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Deneysel ve sayısal modellerin doğal frekanslarının karşılaştırılması

Mod	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Doğal Frekans (Hz)	Deneysel	8.50	35.40	54.70	60.20	145.40	161.10	181.50	221.80	280.50
	Sayısal	8.81	37.36	58.40	62.46	145.46	166.58	188.49	235.09	292.71
Mutlak Hata (%)	3.65	5.54	6.76	3.75	0.04	3.40	3.85	5.99	4.35	

Tablo 3'te verilen doğal frekanslar incelendiğinde deneysel model ile sayısal modelin doğal frekansları arasındaki en küçük farkın %0.04 hata oranı ile 5 modunda olduğu görülmektedir. En büyük fark ise %6.76 ile 3 modunda meydana gelmiştir. Bunu sırası ile %5.99, %5.54, %4.35, %3.85, %3.75, %3.65 ve %3.40 hata oranlarının olduğu 8, 2, 9, 7, 4, 1 ve 6 modlarının doğal frekansları izlemiştir.

SONUÇ

Günümüzde düşük gürültülü ve yüksek güvenli makinaların, konforlu taşıtların, dinamik yüklerle karşı dayanıklı yapıların tasarlanması, emniyetli işletme şartlarının ve optimum çalışma parametrelerinin bulunması gibi çeşitli amaçlar için modal analiz metodu oldukça etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada iki ucu ankastre U çerçevenin teorik ve deneysel modal analizleri yapılmış ve sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Yapılan analizlerde U çerçevenin ilk 9 modu dikkate alınmıştır. Yapının SE modeli ANSYS'te oluşturulmuş, deneysel model ise 28 düğüm 27 elemandan oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Modal analizler sonucunda deneysel ve SE modellerin doğal frekansları arasındaki farkların %0.04 ile %6.76 arasında değişiklik gösterdiği

belirlenmiştir. ANSYS'te oluşturulan modelin malzeme özellikleri, ağ yapısı ve mesnet bağlantıları gibi parametreler üzerinde değişiklikler yapılarak hata oranları azaltılabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Inman D.J. Engineering Vibration, Upper Saddle River New Jersey, 1997.
- [2] Chen W.Q., Ding H.J. Natural frequencies of a fluid-filled anisotropic spherical shell, The Journal of the Acoustical Society of America. 105 174-182, 1999.
- [3] Dingand H.J., Chen W.Q. Nonaxisymmetric free vibrations of a spherically isotropic spherical shell embedded in an elastic medium, Int. J. Solids Struct. 33 2575-2590, 1996.
- [4] Wu Y.C., Heyliger P. Free vibration of layered piezoelectric spherical caps, Journal of Sound and Vibration. 245 527-544, 2001.
- [5] Lee J. Free vibration analysis of spherical caps by the pseudospectral method, Journal of Mechanical Science and Technology. 23 221-228, 2009.
- [6] Krawczuk M., Ostachowicz W., Zak A. Modal analysis of cracked, unidirectional composite beam, Composites Part B: Engineering. 28 641-650, 1997.
- [7] Maurinia C., Porfirib M., Pougeta J. Numerical methods for modal analysis of stepped piezoelectric beams, Journal of Sound and Vibration. 298 918-933, 2006.



- [8] Yoo H.H., Chob J.E., Chung J. Modal analysis and shape optimization of rotating cantilever beams, *Journal of Sound and Vibration*. 290 223-241, 2006.
- [9] Gao W. Interval natural frequency and mode shape analysis for truss structures with interval parameters, *Finite Elements in Analysis and Design*. 42 471-477, 2006.
- [10] Xu Y.L., Zhang W.S. Modal analysis and seismic response of steel frames with connection dampers, *Engineering Structures*. 23 385-396, 2001.
- [11] Chan S.L. Vibration and modal analysis of steel frames with semi-rigid connections, *Engineering Structures*. 16 25-31, 2003.
- [12] Evins D.J. *Modal Testing: Theory, Practice and Application*, Research Studies Press Limited, Hertfordshire, 1984.
- [13] Balke H. *Einführung in die Technische Mechanik*, Springer Verlag, Berlin, 1956.
- [14] Saad Y. *Iterative Methods for Sparse Linear Systems*, PWS Publishing Company, Boston, 1996.
- [15] Grafe H. Model updating of large structural dynamics models using measured response functions, PhD Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine University of London, 1998.

Determination Of The Most Suitable Option For Production With Uncoated Papers In Offset Printing By Multi-Criteria Decision Making Method

Zafer ÖZOMAY¹, Cem AYDEMİR¹, Şükrü Cem ÖZAKHUN¹

¹ Department of Printing Technologies, School of Applied Sciences, Marmara University, Istanbul, Turkey

✉: ozomay@marmara.edu.tr  0000-0002-7650-733X,

Cem AYDEMİR  0000-0002-0202-6576, Şükrü Cem ÖZAKHUN  0000-0002-7491-3289

Received (Geliş): 16.10.2019

Revision (Düzeltilme):05.12.2019

Accepted (Kabul): 10.12.2019

ABSTRACT

The visual quality of the print result is largely dependent on the optimum level of coalescence process of the underprint material and the ink. The structural characteristics of the paper are extremely important in that the print can be obtained without loss and with the desired colour value. Since paper and cardboard are heterogeneous and interchangeable materials, it is necessary to measure the structural properties and determine their effect on the printability parameters of these properties. In this study, 90 g/m² alternative papers, which are widely used in a certain product group and have different characteristics, are selected. 5 alternative papers were selected, elongation, strength, contact angle and surface energies were determined with the calibrated test devices. With offset printing, the ink is transferred to the paper by keeping the ink quantities constant with the cyan, magenta, yellow and black lines. Inks were measured for density and colour measurements followed by light fastness test and colour measurements were repeated. Differences in colour and paper properties are compared with multi-criteria decision making methods and given graphically. The optimal paper was selected using the TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) method, which is a multi-criteria decision-making method for choosing the most appropriate paper for production.

Keywords: Multiple Criteria Decision Analysis, Offset Printing, Paper, TOPSIS

Ofset Baskıda Kaplanmamış Kağıtlarla Üretim İçin En Uygun Seçeneğin Çok Kriterli Karar Verme Metodu İle Belirlenmesi

ÖZ

Baskı sonucunun görsel kalitesi büyük ölçüde baskı altı malzemesi ve mürekkebin optimum birleşme sürecine bağlıdır. Kağıdın yapısal özellikleri, baskının kayıpsız ve istenen renk değeri ile elde edilebilmesi bakımından son derece önemlidir. Kağıt ve karton heterojen ve değiştirilebilir malzemeler olduğundan, yapısal özellikleri ölçmek ve bu özelliklerin basılabilirlik parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemek gereklidir. Bu çalışmada, belli bir ürün grubunda yaygın olarak kullanılan ve farklı özelliklere sahip 90 g/m² alternatif kağıtlar seçilmiştir. 5 alternatif kağıt, uzama, kuvvet, temas açısı ve yüzey enerjileri test cihazlarıyla ölçümlenmiştir. Ofset baskı ile, mürekkep miktarları sabit tutmak suretiyle cyan, magenta, sarı ve siyah mürekkep kağıda aktarılmıştır. Yoğunluk ve renk değerleri için mürekkepler ölçümlenip, ardından ışık haslığı testi gerçekleştirilerek renk ölçümleri tekrarlanmıştır. Renk ve kağıt özelliklerinde farklılıklar çok kriterli karar verme yöntemleri ile karşılaştırılarak grafik olarak verilmiştir. Baskıda en uygun kağıdı belirlemek için çok kriterli bir karar verme yöntemi olan TOPSİS (Alternatifler Arasından İdeal Seçimin Belirlenmesi) yöntemi kullanılarak baskıya en uygun kağıt belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok Kriterli Karar Verme, Kağıt, Ofset Baskı, TOPSİS

INTRODUCTION

Paper is a smooth material produced by making various tree species into pulp and cellulose, and then sifting and drying via various mechanical and chemical effects [1] and by gaining strength. Paper known as high-grade paper pulp are used for printing books, leaflets, brochures, etc. [1,2] When the paper surface is rougher and has a more porous structure, printed ink spreads and diffuses more. Paper is one of the materials that humanity needs thanks to its place in culture and

industry. [3-5] Development of paper industry is accepted as one of the determinants of industrial and cultural development level of a country. [6-8] In order to produce a high quality paper to satisfy customer expectations, it is necessary to make the best choice among various paper types, to apply print standards combining the most appropriate print technique, to understand customer needs and implement everything meticulously until the designing stage. [9,10]. Multi-criteria decision making is a method used widely to classify alternatives with more than one criterion.

Hwang and Yoon presented a study in 1981 on multi-criteria decision making. TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions), one method, is used widely and developed by Hwang and Yoon (1981). [11,12] In this study test print measurements of high-grade paper pulp papers were carried out and the most ideal was identified via TOPSIS results.

MATERIAL and METHODS

In this study 5 samples from high-grade paper pulp papers used in printing industry were chosen. These samples were assessed on amount of percent decrease in CMYK density values, ΔE differences, stiffness length, stiffness width, ash content, tensile strength width, tensile strength length, contact angle, and surface energy for each CMYK colours after light-fastness were and results were shown in Table 1.

Testing prints were done putting papers with the same thickness but different properties one after the other

while the offset printing system was working at a speed of 7000. Print pressure value was stabilised during the printing for papers with the same thickness. Printing setting conditions were met at an ambient temperature of 20 °C and at a relative humidity of 55% on condition that ink water balance was stabilised. [13,14] Changes in accordance with the physical properties of paper were compared under the condition that ink amounts transferred on each sample was equal. Light-fastness test was done using the light - fastness device with ISO 105-B02 [15] standard. Test scales for colour measurement were prepared in line with the ISO 12642-2 and ISO 12642-1 [16] standards.

Test prints were done in the press in which ISO 12647-2 [17-21] standard applied. Colour gamuts were prepared creating ICC profiles from the ECI 2002 colour measurement zone on the scale for test prints (Figure 1). Surface tone density values of print samples prepared in the study were obtained at 20 observer angle and under D50 light source. Measurements were carried out in line with ISO 12647-2 standard.

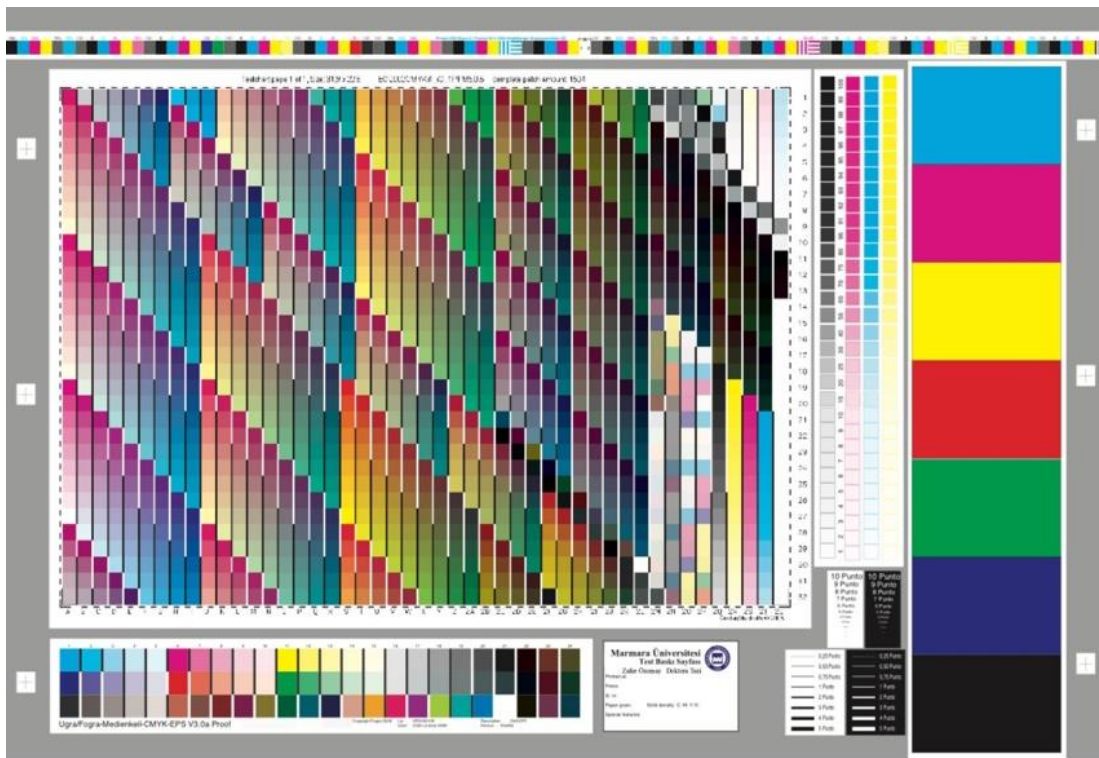


Figure 1. Print Testing Scale

FINDINGS

In the study, alternatives of TOPSIS method were found and assessment criteria were identified according to its advantages. Accordingly, there are 5 samples of high-grade paper pulp paper used in print industry. Selection criteria for high-grade paper pulp paper were amount of percent decrease in CMYK density values, ΔE differences, stiffness length, stiffness width, ash content,

tensile strength width, tensile strength length, contact angle, and surface energy for each CMYK colours after light-fastness and these were calculated with the formula below and results were shown in Table 1.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Table 1. Properties of papers used

	Density				ΔE differences				Stiffness			Strength			
	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN
	C	M	Y	K	C	M	Y	K	St. Length	St. Width	Ash Amount	Break Strength Length	Break Strength Width	C.A.	S.E.
IH1	8,18	15,69	58,59	3,33	1,15	2,74	11,08	1,51	0,6	0,2	24,43	94,13	64,91	82,90	35,10
IH2	1,03	13,83	65,26	1,75	2,30	2,46	12,17	1,59	0,4	0,2	23,64	84,61	58,35	81,60	35,50
IH3	1,83	9,43	49,48	1,67	3,24	2,44	12,76	1,57	0,6	0,2	21,63	83,67	57,70	86,50	33,80
IH4	0,99	9,09	57,14	1,74	2,12	2,07	10,46	2,58	0,6	0,4	20,25	84,61	58,35	96,40	30,20
IH5	9,17	9,90	58,95	5,79	2,78	2,37	10,92	2,74	0,4	0,2	24,27	95,32	65,73	91,30	32,00

Table 2. Decision Matrix of Criteria for Samples (A)

	Density				ΔE differences				Stiffness			Strength			
	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN
	C	M	Y	K	C	M	Y	K	St. Length	St. Width	Ash Amount	Break Strength Length	Break Strength Width	C.A.	S.E.
IH1	8,18	15,69	58,59	3,33	1,15	2,74	11,08	1,51	0,6	0,2	24,43	94,13	64,91	82,90	35,10
IH2	1,03	13,83	65,26	1,75	2,30	2,46	12,17	1,59	0,4	0,2	23,64	84,61	58,35	81,60	35,50
IH3	1,83	9,43	49,48	1,67	3,24	2,44	12,76	1,57	0,6	0,2	21,63	83,67	57,70	86,50	33,80
IH4	0,99	9,09	57,14	1,74	2,12	2,07	10,46	2,58	0,6	0,4	20,25	84,61	58,35	96,40	30,20
IH5	9,17	9,90	58,95	5,79	2,78	2,37	10,92	2,74	0,4	0,2	24,27	95,32	65,73	91,30	32,00
MAX	9,17	15,69	65,26	5,79	3,24	2,74	12,76	2,74	0,60	0,40	24,43	95,32	65,73	96,40	35,50
MIN	0,99	9,09	49,48	1,67	1,15	2,07	10,46	1,51	0,40	0,20	20,25	83,67	57,70	81,60	30,20

The matrix was normalized by taking the square root of sum of root of scores and properties of criteria in the decision matrix in Table 2.

The formula shown below is used for normalising and matrix R is obtained.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

$$r_{11} = \frac{8,18}{\sqrt{8,18^2 + 1,03^2 + 1,83^2 + 0,99^2 + 9,17^2}} = 0,654$$

Relative weight values of the elements of the normalised decision matrix are found in line with the importance given to criteria. In study, weight values were accepted to be equal and shown in Table 3.

Then when units in each column of matrix R are multiplied by w_j the related value, matrix V_{ij} is created. Since the calculation was made accepting importance weight values to be equal, the formula is:

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & \dots & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

$$v_{11} = 0,654 \times 0,0666 = 0,0435$$

Since the weight does not change when applied to matrix R, the data in Table 3 were accepted as matrix V_{ij} and also formed the weighted normalised decision matrix.

Weight values of the criteria are given in Table 4. According to Table 4 whole criteria have same value.

While ideal solution was composed of the best performance values of weighted normalised decision matrix, negative ideal solution was composed of the worst values. Ideal solutions were calculated using the formulation shown below. In both formulas, I shows benefit or profit (maximization), and J shows cost (minimization) value. The values obtained from the benefit or profit (maximization), and J shows cost (minimization) value. The values obtained from the formula in Table 5 are as follows

Table 3. Matrix

	Density				ΔE differences				Stiffness		Strength			MIN	
	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MIN	MAX	MAX		MAX
	C	M	Y	K	C	M	Y	K	St. Length	St. Width	Ash Amount	Break Strength Length	Break Strength Width		C.A.
IH1	0,654	0,590	0,451	0,456	0,212	0,505	0,431	0,326	0,507	0,354	0,477	0,475	0,475	0,422	0,470
IH2	0,082	0,520	0,502	0,240	0,425	0,454	0,473	0,343	0,338	0,354	0,462	0,427	0,427	0,415	0,476
IH3	0,147	0,355	0,381	0,228	0,598	0,450	0,496	0,339	0,507	0,354	0,422	0,422	0,422	0,440	0,453
IH4	0,079	0,342	0,440	0,238	0,391	0,382	0,406	0,557	0,507	0,707	0,395	0,427	0,427	0,490	0,405
IH5	0,733	0,372	0,454	0,791	0,513	0,437	0,424	0,592	0,338	0,354	0,474	0,481	0,481	0,464	0,429

Table 4. Weight Values of the Criteria (wj)

Criteria	Weight Vector (wj)
C	0,06
M	0,06
Y	0,06
K	0,06
C	0,06
M	0,06
Y	0,06
K	0,06
Stiffness length 5° L&W mNm	0,06
Stiffness width 5° L&W mNm	0,06
Ash % 525 °C	0,06
Break strength Length Nm/gr	0,06
Break strength Width Nm/gr	0,06
Contact Angel .WGS	0,06
Surface Energy ASTM D5946	0,06
TOTAL	1,00

Table 5. Maximum and Minimum Values (A* and A-)

	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MAX	MAX	MIN	MAX	MAX	MAX	MIN
	C	M	Y	K	C	M	Y	K	St. Length	St.Wi dth	Ash A.	B.S. Lengh	B. S. Width	C.A.	S.E.
IH1	0,654	0,590	0,451	0,456	0,212	0,505	0,431	0,326	0,507	0,354	0,477	0,475	0,475	0,422	0,470
IH2	0,082	0,520	0,502	0,240	0,425	0,454	0,473	0,343	0,338	0,354	0,462	0,427	0,427	0,415	0,476
IH3	0,147	0,355	0,381	0,228	0,598	0,450	0,496	0,339	0,507	0,354	0,422	0,422	0,422	0,440	0,453
IH4	0,079	0,342	0,440	0,238	0,391	0,382	0,406	0,557	0,507	0,707	0,395	0,427	0,427	0,490	0,405
IH5	0,733	0,372	0,454	0,791	0,513	0,437	0,424	0,592	0,338	0,354	0,474	0,481	0,481	0,464	0,429
A -	0,733	0,590	0,502	0,791	0,598	0,505	0,496	0,592	0,338	0,354	0,477	0,422	0,422	0,415	0,476
A *	0,079	0,342	0,381	0,228	0,212	0,382	0,406	0,326	0,507	0,707	0,395	0,481	0,481	0,490	0,405

$$A^* = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\}$$

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$$

For negative ideal solution the following formula is applied.

$$A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\}$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

$$A^* = \left\{ \begin{array}{l} 0,079, 0,342, 0,381, 0,228, 0,212, 0,382, 0,406, 0,326, 0,507, 0,707, \\ 0,395, 0,481, 0,481, 0,490, 0,405 \end{array} \right\}$$

$$A^- = \left\{ \begin{array}{l} 0,733, 0,590, 0,502, 0,791, 0,598, 0,505, 0,496, 0,592, 0,338, 0,354, \\ 0,477, 0,422, 0,422, 0,415, 0,476 \end{array} \right\}$$

Difference (distance) among the alternatives is measured. Distance of each alternative from the ideal solution is calculated using the below equation.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

$$S_1^* = \sqrt{(0,654 - 0,079)^2 + (0,590 - 0,342)^2 + (0,451 - 0,381)^2 + (0,456 - 0,228)^2 + (0,212 - 0,212)^2 + (0,505 - 0,382)^2 + (0,431 - 0,406)^2 + (0,326 - 0,326)^2 + (0,507 - 0,507)^2 + (0,354 - 0,707)^2 + (0,477 - 0,395)^2 + (0,475 - 0,481)^2 + (0,475 - 0,481)^2 + (0,422 - 0,490)^2 + (0,470 - 0,405)^2} = 0,778099465$$

$$S_1^- = \sqrt{(0,654 - 0,733)^2 + (0,590 - 0,590)^2 + (0,451 - 0,502)^2 + (0,456 - 0,791)^2 + (0,212 - 0,598)^2 + (0,505 - 0,505)^2 + (0,431 - 0,496)^2 + (0,326 - 0,592)^2 + (0,507 - 0,338)^2 + (0,354 - 0,354)^2 + (0,477 - 0,477)^2 + (0,475 - 0,422)^2 + (0,475 - 0,422)^2 + (0,422 - 0,415)^2 + (0,470 - 0,476)^2} = 0,615910233$$

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*}$$

$$C_1^* = \frac{0,615910233}{0,778099465 + 0,615910233} = 0,441826362$$

In the result C1 value is in the $0 \leq C \leq 1$ interval, and C1 value approximating to 1 means it approximates to ideal solution, and it approximating to 0 means the distance to ideal solution. When the formula is implemented on all variables, following results are obtained and shown in Table 6.

RESULT and DISCUSSION

Paper whiteness value of high-grade paper pulp affects directly the delta E values arising in colours after light-fastness test. The difference occurred in papers with high whiteness following the light-fastness test is more compared to the ones with low whiteness. Although there was a difference between numerical values of surface contact angle, surface energy and density values, increase and decrease directions and density values are in the same direction.

As a result of the TOPSIS analysis conducted on high-grade paper pulp, it was found that the sample named IH4 was the ideal one. It is seen that the ideal paper had the minimum amount of ash. Also, the sample farthest from the ideal was found to be IH5 and that the amount of ash in this sample was maximum, which show that the implementation is consistent.

ACKNOWLEDGEMENT

This study is supported by BAPKO (Marmara University Centre for Coordination of Scientific

Table 6. Maximum and Minimum Values (A* and A-)

	Si*	Si-	Ci	Order
IH1	0,778099465	0,615910233	0,441826362	4
IH2	0,525489938	0,909812401	0,633882058	2
IH3	0,551314865	0,911646773	0,623151523	3
IH4	0,308050014	1,01871823	0,767819274	1
IH5	1,037774928	0,27970774	0,212304683	5

Research) as part of the project numbered FEN-C-DRP-120514-0168.

REFERENCES

- [1] Özomay Z. Kağıt ve kartonun yapısal özelliklerinin basılabilirlik parametrelerine etkisinin incelenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2016.
- [2] Blayo A., Pineaux B. Printing processes and their potential for RFID printing, Proceeding of Joint sOcUESAI Conference, 27-30, 2005.
- [3] Zelzele O.B., Özdemir L. Dijital termal flekso baskı kalıbı hazırlama parametrelerinin kalıp üzerindeki nokta yapısına etkisinin incelenmesi, Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 2 63-75, 2015.
- [4] Kipphan H. Handbook of print media: technologies and production methods, Springer Science Business Media, 2001.
- [5] Leach R. The printing ink manual, S.Science Business Media, 2012.
- [6] Akgul A., Effect of water hardness on the offset printing quality, Asian Journal Chemistry, 24 4771-4773, 2012.
- [7] Shiokawa D., Izumi K., Sugano R., Sekine T., Minami T., Kumaki D., Tokito S. Development of a silver nanoparticle ink for fine line patterning using gravure



- offset printing. Japanese Journal of Applied Physics 56.5S2, 2017.
- [8] Cahill V. Introduction to digital printing technology, Prepress; Graphic Artists, Pre-Press Personnel, Bobbin Magazine, 2-3, 1998.
- [9] Kumar A.V., Dutta A., Fay J.E. Electrophotographic printing of part and binder powders, Rapid Prototyping Journal, 10(1) 7-13, 2004.
- [10] Sirviö P. Experiences with paper and board substrates for digital printing, Proceedings of the IS&T International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, 342-345, 2012.
- [11] Aydemir C., Özomay Z., Karademir A., Kandirmaz Arman E. Effects of matte coating on the paper surface and print density, Science and Engineering of Composite Materials, 5 123-134, 2012.
- [12] Özomay M., Türkiye’de yöresel dokunan bez örneklerinin doğal boyarmaddeler ile gri ilişkisel analiz yöntemi kullanılarak boyama özelliklerinin belirlenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2016.
- [13] Özdemir A.İ., Seçme N.Y. İki aşamalı stratejik tedarikçi seçiminin bulanık TOPSIS yöntemi ile analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi, 11(2) 79-112, 2009.
- [14] Ural E., Kandirmaz E., Potential of fish scales as a filling material in surface coating of cellulosicpaper, Journal of Applied Biomaterials Functional Materials, 2017.
- [15] Schein L.B. Electrophotography and development physics, p. 203, 1992.
- [16] TS EN ISO 105-B02, Kağıt- Renk haslığı deneyleri- Bölüm b02: Yapay ışığa karşı renk haslığının tayini, 2013.
- [17] ISO 12642-2, Graphic technology Input data for characterization of 4-colour process printing, Part 2: Expanded data set, 2006.
- [18] ISO 12647-2, Graphic technology, Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints Part 2: Offset litho-graphic processes, 2004.
- [19] Ünal H., Oğuz M. Ofset baskıda ISO 12467-2 standardının uygulanmasında dikkat edilmesi gereken kurallar ve önemi, I. Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu, 154-162, 2003.
- [20] Dereli A., Mert H. Genel matbaa, Milli Eğitim Yayınları, 173-177, 1995.
- [21] Hird K.F. Offset lithographic technology, Offset Press Fundamentals 9-10.
- [22] Dejidias P.L., Destree T. Sheetfed offset press operating, PIA/GATF Press, p. 159-160, 2005.

Structural and morphological properties of SnO₂:Sb:F thin films produced by spray pyrolysis technique at various substrate temperatures

Ahmet BATTAL¹, Bahattin DÜZGÜN²

¹Department of Classroom Instruction Education, Education Faculty, Mus Alparslan University, Mus, Turkey

²Department of Physical Education, Kazım Karabekir Education Faculty, Atatürk University, Erzurum, Turkey

✉: a.battal@alparslan.edu.tr  0000-0003-0208-1564, Bahattin DÜZGÜN  0000-0002-1119-4520

Received (Geliş): 18.11.2019

Revision (Düzelme):04.12.2019

Accepted (Kabul): 09.12.2019

ABSTRACT

Doubly (antimony and fluorine) doped tin oxide (SnO₂:Sb:F/AFTO) thin films with low solution concentration and low Sb doping were deposited on the glass by using spray pyrolysis technique at different substrate temperatures. The effect of substrate temperature on properties of the prepared films was investigated. It was seen from X-ray diffraction analysis that the thin films are rutile structure with polycrystalline and orientations along (101), (200) and (210) directions for all substrate temperature. SEM and AFM images indicated that thin films were affected by substrate temperature and the surface of films was homogeneous and to be made of nanocrystalline. The films have 83% average transmittance values and E_g values are between 3.10-3.89 eV. These E_g and transmittance values changed continuously with substrate temperatures. Hence, it was concluded that properties of thin films were affected by the substrate temperature and these result mostly compatible with the results obtained from literature.

Keywords: Spray Pyrolysis, Thin films, Antimony and Fluorine doped tin oxide (SnO₂:Sb:F), Electrical Properties, PL studies

Farklı altlık sıcaklıklarında spreylendirilerek üretilen SnO₂:Sb:F ince filmlerin yapısal ve morfolojik özellikleri

ÖZ

Düşük çözelti konsantrasyonlu ve düşük Sb dopingli çifte (antimon ve flor) katkılı kalay oksit (SnO₂:Sb:F/AFTO) ince filmler, farklı altlık sıcaklıklarında spreylendirilerek cam altlık üzerinde biriktirildi. Altlık sıcaklığının hazırlanan filmlerin özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. X-ışını difraksiyon analizinde, ince filmlerin, tüm substrat sıcaklığı için (101), (200) ve (210) yönleri boyunca yönelimli ve polikristal tetragonal bir yapı olduğu görülmüştür. SEM ve AFM görüntüleri, ince filmlerin altlık sıcaklığından etkilendiğini, film yüzeylerinin homojen olduğunu ve nanokristallerden yapıldığını gösterdi. Filmler % 83 ortalama geçirgenlik değerlerine sahiptir ve E_g değerleri 3.10-3.89 eV arasındadır. Bu E_g ve geçirgenlik değerleri altlık sıcaklıkları ile sürekli değişmiştir. Bu yüzden ince film özelliklerinin substrat sıcaklığından etkilendiği ve bu sonuçların çoğunlukla literatürden elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: Spreylendirilerek, İnce filmler, Antimon ve Flor katkılı kalay oksit (SnO₂: Sb: F) , Elektriksel Özellikler, PL çalışmaları

INTRODUCTION

Transparent on optical range, low resistivity conducting and wide optical band gap (E_g) (>3 eV) oxides (TCOs) have attracted the scientists due to their wide using in many research and industrial areas for example, low-emissivity glass [1], window defrosters [2], transparent anode layer for all general organic light emitting diodes [3] and optoelectronic devices [4-5] gas sensor [6], DSSC solar cell [7] and flat panel TV displays. This combination sort of transparency and conductivity isn't usually possible in intrinsic stoichiometric oxides; however, it is made in a non-stoichiometric composition or with appropriate dopants as Sb, F, Zn, Mo, Pr and Ta [8]. So, from 1940 year to nowadays many studies on TCOs by using different methods and by changing the conditions required to prepare them have been making to improve properties of them [1-9].

It is known that many oxide stoichiometric materials with wide gap, high T in the visible and reflective ultraviolet ranges behave as an insulator at RT. A good conductivity and transparency for these materials is getting by increasing free charge concentration in the conduction band by the state of some nonstoichiometric [9]. These properties are obtained in deposited thin films.

Although many excellent reviews of TCOs are available in literature [1, 4-5], the report about doubly doped thin films is very rare [10]. Among these doped TCOs thin films, such characteristic properties are shown easily at the tin oxides (SnO₂) doped with antimony and fluorine. Whenever depositing, an O²⁻ ion is substituted with an F⁻ ion and donor level is produced. Also, Sb introduces Sb⁵⁺ ions that act as donors but after that Sb³⁺ ions begin to replace the Sn⁴⁺ ions [8, 10, 11]. So, doubly doped process can be made.

Doubly doped tin oxide thin films can be produced by many methods like as dip coating, pulsed laser deposition [12], Thermal evaporation [13], sol-gel [14] and spray pyrolysis technique. The spray pyrolysis method is very useful technique because it is economic, cheap, re-producible and suitable for big area uniform coatings and easily adding dopant materials [10, 15].

In this study, homemade spray pyrolysis technique, which is ideal for performing multiple doping, was used in the production of antimony and fluorine doped tin oxide thin films. The effect of substrate temperature on the structural and morphological properties of these thin films was investigated using XRD, SEM, UV and PL analyzes. Analysis of these thin films revealed very interesting properties, such as p-type conductivity first time reported for doubly doping as known.

MATERIALS and METHODS

Deposition of SnO₂:Sb:F Thin Films

In the experiment, Antimony (Sb) and Fluorine (F) doped tin oxide (called SnO₂:Sb:F or AFTO) thin films were deposited on borosilicate glass substrates with (1x1x0,1) cm³ using starting solution with low concentration by home-made spray pyrolysis technique at different substrate temperatures in steps of 40 °C. The schematic diagram of home-made spray pyrolysis technique and other details have been reported elsewhere [11]. Substrate temperature is maintained 320 °C from 480 °C ±5 using thermocouple. While host precursors for Sn are SnCl₂.2H₂O, Sb and F doping was obtained from SbCl₃ and NH₄F (Merck) precursors, respectively. Doping of Sb and F is 4 and 30 wt. %, respectively. To enhance the solubility of tin oxide, 5 mL HCl is added with the precursor solution. Totally, volume of solution with doubly deionized water is 50 mL. After deposition, the substrate temperature was decreased to 25 °C. In each process, several samples were produced simultaneously at each different substrate temperature levels. It was realized that the crystals have same properties as like [16].

The substrates were washed in ultrasonic cleaner with organic solvents and deionized water for 8 min. The substrates were pre-heated to gain the required temperature on all glass surfaces. Spray nozzle-substrate distance and angle (α) were 40 cm and 45°, respectively. The deposition time was 20 min, speed per minute is 20 rpm and totally volume is 50 mL.

Characterization

The deposited thin films were fully characterized with XRD, SEM, optical and electrical property measurements etc. XRD patterns of these thin films were recorded by Rigaku D/Max-IIIC XRD diffractometer with CuK α radiation ($\lambda=1.5418$ Å), at 30 kV and 10 mA. Surface morphology of film analyzed with SEM and AFM, that is, by employing JEOL SEM Model 6460 Scanning Electron Microscope and by NT-MDT Atomic Force Microscope. The Optical measurements carried out in the range of 250-1000 nm

using a UV-VIS spectrophotometer (Perkin Elmer, Lambda 35). The electrical measurements measured using the Vander Pauw configuration probe by Ecopia HMS5000/AMP55T Hall probe system in at room temperature. PL measurements were taken by using Jobin Yvon Horiba Spex Fluoromax-3 Spectrometer. 300 nm is excitation wavelength in all PL experiments.

RESULTS and DISCUSSION

Structural Analysis

Structural properties of SnO₂:Sb:F/AFTO thin films with low concentration (0.05 M) deposited at different substrate temperature were determined using XRD technique. XRD spectra for these AFTO thin films are studied in the 2θ of 20°-70° shown in Figure 1.

It was seen that the prepared films were polycrystalline with tetragonal (rutile) structure irrespective of substrate temperature. Three more power peaks along (101), (200) and (210) and two more lower peaks along (110) and (211) planes are clearly indicated that the films have polycrystalline mainly. Extra phases (as like SnO, Sn₂O₃ and Sb₂O₃ compounds) are not observed in the deposited films [8]. It was found that XRD patterns were compatible with the Amer. Soc. for Testing and Materials (ASTM) standard (JCPDS Card No: 71-0652 Quality C) for the tin oxide.

The films deposited at different substrate temperature have preferential orientation along the (200) plane. However, as the temperature is increased the intensity of the (200) peak increased, after 400 °C decreased. So, best properties regarding crystalline structure was observed on films which prepared at 400 °C temperature. It was understood that 400 °C substrate temperature was suitable for good atomization which to make good thin film on substrate. The reason of this may be due to the increase in crystallinity with increasing in the substrate temperature.

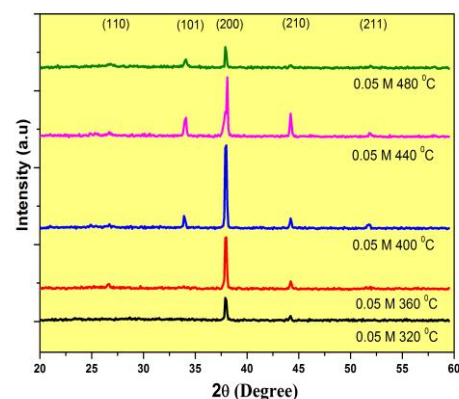


Figure 1. The XRD spectra for SnO₂:Sb:F/AFTO thin films prepared at different substrate temperatures

Because the sharp and highly intense peaks suggest that deposited films have good crystalline nature [17]. Moreover, when substrate temperature was increased, decomposition increases and good thin film growth

quality was better because of ideal deposition conditions taken place on the substrate. But, more increasing substrate temperature after 400 °C is risky due to solvent vaporizes before the droplets reaches the substrate or begin more dislocation on the substrate due to high vibration. Similar results have been found in the literature [8,10]. For example, Mokaripoor and Bagheri-Mohagheghi [8] have reported that tin oxide thin films with very low to high Sb doping have (110) and specific (110) and (200) direction. However, as the ratio of Sb is increased, intensity of the (110) peak decreased but intensity related to the (200) increased like present study.

Also, it was noted in the literature that if HCl was put in the solution, the thin films were clearly oriented along (200) plane. As HCl was added the solution in this study, the (200) planes were observed [17]. Finally, substrate temperature 400 °C was the best crystalline preparing temperature found in the present work. So,

substrate temperature is more important parameter for preferential orientation in depositing thin film. Moreover, the preferred orientations depend on compounds' source, solvent and growth parameters such as solution and deposition concentration [7,19,20]. The crystallite size (D) of these AFTO thin films is calculated using Debye-Scherrer's formula, $D=0.9\lambda/(\beta\cos\theta)$ [8] where λ is the wavelength ($\lambda=1.5418 \text{ \AA}$), β means of the broadening of diffraction line measured at (FWHM) and θ is the Bragg angle. Structural parameters of these AFTO thin films which were calculated for only preferential orientation plane by using above formula are summarized in Table 1.

Table1. Summary of the structural parameters of SnO₂:Sb:F/AFTO thin films

T _{substrate}	(hkl)	2θ(°)	FWHM	d _{std} (Å)	d _{cal} (Å)	a _{std} =b _{std} (Å)	a _{cal} =b _{cal} (Å)	c _{std} (Å)	c _{cal} (Å)	D(nm)	δ(lines/ m ²)
320 °C	(200)	37,9	0,23257	2,369	2,375	4,738	4,750	3,187	-	38,1	6,91E+14
360 °C	(200)	38,0	0,23364	2,369	2,369	4,738	4,738	3,187	-	37,9	6,97E+14
400 °C	(200)	38,0	0,22777	2,369	2,369	4,738	4,738	3,187	3,183	38,9	6,62E+14
440 °C	(200)	38,1	0,14224	2,369	2,363	4,738	4,726	3,187	3,164	62,2	2,58E+14
480 °C	(200)	37,9	0,20737	2,369	2,375	4,738	4,750	3,187	3,160	42,7	5,49E+14

(hkl) miller indices, 2θ-The Diffraction Angle, FWHM-Full width at half maximum, d-interplaner distance, a, b and c lattice constants, D-Crystallite size, δ-Dislocation density, cal: calculation and std: standard

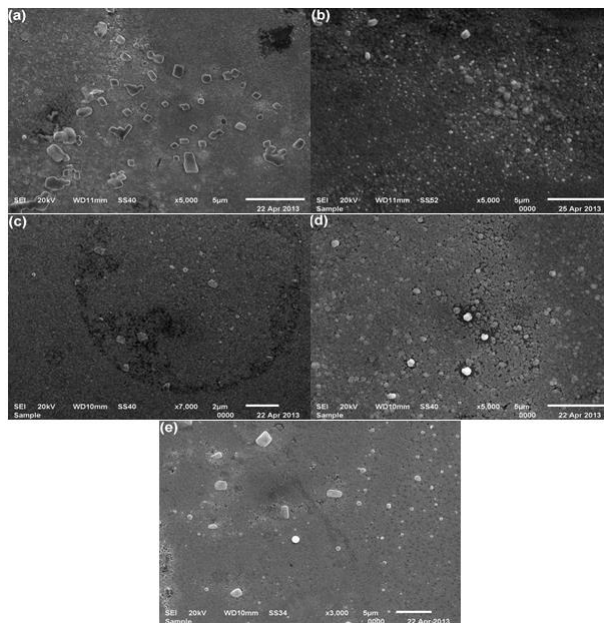


Figure 2. SEM micrographs for SnO₂:Sb:F/AFTO thin films prepared at different substrate temperature; (a) 320 °C, (b) 360 °C, (c) 400 °C, (d) 440 °C and (e) 480 °C respectively.

From the estimated crystallite size values (Table 1), it is found that the crystallite size changed depending on

substrate temperature from 38.1 nm to 42.7 nm. A sudden increase at 440 °C can be due to the aggregation of grains (see SEM-AFM graphs). Once fluorine doping in present work comparing to earlier work [11] decreased, it was seen grain size of thin films increased in good agreement with Shinde et al [21]. So, the obtained structural values for SnO₂:Sb:F/AFTO thin films are in good agreement with the literature.

The distance of interplaner (d) for every crystal calculated (see Table 1) from XRD results by using Bragg's law; ($n\lambda = 2d\sin\Phi$). As the films have tetragonal rutile structure, the lattice constants a and c are calculated using the equation [22]; $(1/d^2) = \{[(h^2+k^2)/a^2] + (l^2/c^2)$ where (hkl) is Miller indices. Tetragonal rutile structure has $a=b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ formula. The calculated 'a=b' and 'c' values are well matched with the JCPDS Card No: 71-0652 Quality C. Lattices parameters (a and c) which calculated from XRD measurement were given in Table 1. It was concluded that lattice constants of these thin films were not affected much with substrate temperature but the minor increase in the lattice parameter (a) may be due to the increase in the substitutional F (133 pm) ion with the O (132 pm) ion sites. Also, if lattice parameters variety for thin films deposited by spray, automatically film grains is strained means of due to the change in the film structure and impurity concentration [23].

In this work, dislocation density (δ) was calculated with $\delta=1/D^2$ formula where D is the crystallite size [24]. The dislocation densities of these films are presented in Table 1. The small values of δ obtained in these reported study approved the good crystallinity of AFTO thin films deposited by spray pyrolysis technique [17]. Despite having the best crystal quality at 400 °C, the dislocation density of this crystal is higher than the crystals obtained at higher temperatures. This situation has not been understood. But, like in our previous work, it was seen that precursor concentration is the most important process parameter controlling film structural properties and reducing the defects.

Morphological Study

The surface morphological measurements of AFTO thin films which prepared at different substrate temperature were taken by using a JEOL SEM Model 6460. This SEM Micrographs displaying the surface morphology of AFTO thin films are shown in Figure 2.

It was seen from SEM graphs that the surface morphology of the films was strongly affected by the substrate temperature. The evolution in the structure of the films is evident from images presented. It is observed that the AFTO thin films were fully covered on all the substrate and nanocrystalline particles were

mostly found on the film surface. It was found that as crystallinities of thin films are developing, surface morphologies are uniform and homogenous with well developed.

It was known from SEM analysis, the grain size increased when substrate temperature increased until 400 °C. The grain size at the further temperature increasing exhibits a decreasing trend. At 440 °C it was found a sudden increase. These results are suit to the XRD analysis. AFTO thin films have uniform size grains with circle shape at very lower and upper temperature from 400 °C. At 400 °C which achieved the best film surface size grains have both circle shape and needle shape.

Substrate temperature is an important parameter because when substrate temperature increased, decomposition increases and good film growth quality is better because of ideal deposition conditions taken place on the substrate. But, at low substrate temperature, droplet in liquid phase which reached on the substrate decomposes without a good film growth quality according to another high substrate temperature.

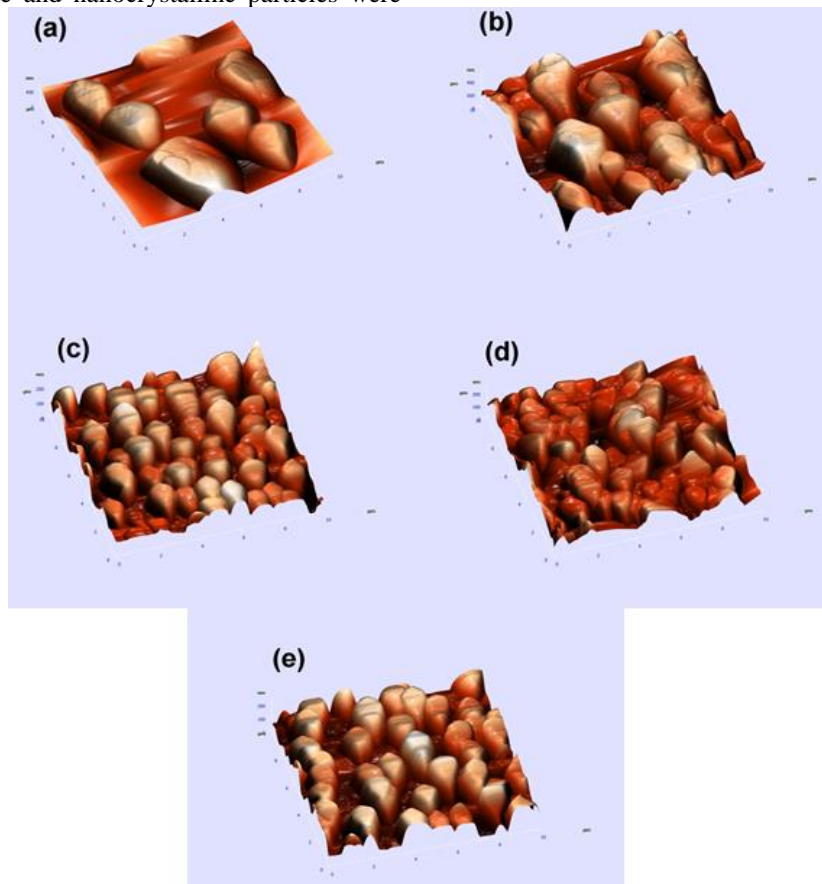


Figure 3. AFM images for SnO₂:Sb:F/AFTO thin films prepared at different substrate temperature; (a) 320 °C, (b) 360 °C, (c) 400 °C, (d) 440 °C and (e) 480 °C respectively.

Surface Study

A further increasing substrate temperature after 440 °C is risky due to solvent vaporizes before the droplets reaches the substrate or begin more dislocation on the substrate due to extreme vibration. Finally, it was found that best crystalline and SEM results confirmed XRD patterns. 3D AFM images at Figure 3 showed that the surface of these films have nanocrystalline particles-uniform and homogenous with well developed. The cone or cornet shapes grains can be seen on all substrates.

Most grains are slightly non-homogenous except Figure 3-c. When the substrate temperature is increased at 400 °C, the distribution of grains is more uniformly on the substrate surface. Some higher grains seem to be aggregated at 440 °C substrate temperature which confirmed SEM graphs. From the AFM images, it was understood that the surface grain size become going smaller and then larger.

The values of surface RMS (Root mean square roughness) depended on substrate temperature are seen in Table 2. These values follow the same trend like surface grain size as a function of the substrate temperature. The RMS of the films doped at 400 °C is the lowest in comparison with other films.

Table2. The RMS values of AFTO films prepared at different substrate temperature

Substrate Temperature	RMS (nm)
320 °C	113,455 nm
360 °C	74,9580 nm
400 °C	35,6588 nm
440 °C	36,8323 nm
480 °C	57,6777 nm

RMS- Root mean square roughness

Optical Properties

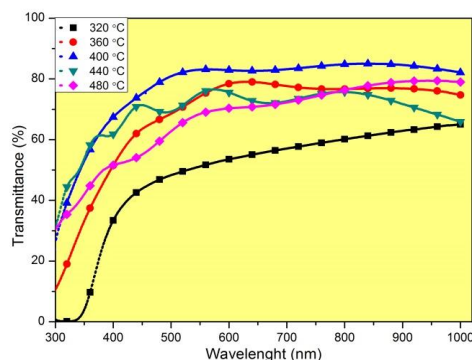


Figure 4. Optical transmission spectra of SnO₂:Sb:F/AFTO thin films prepared at different substrate temperature

The optical transmission spectras (T) of the AFTO thin films prepared at different substrate temperature in the wavelength range of 300–1000 nm are shown in Figure 4. As tin oxide and its derivatives is one of the most

attractive TCOs materials, it is expected that they have high transmittance in general. In this work, the average transmittance of these thin films in the visible range is observed as between 50-85%. It is found that The AFTO thin film deposited at 400 °C exhibits the highest transparency (83% at 700 nm).

At deposited 320 °C substrate temperature, the thin films have lower transmittance from other which may be due to incomplete decomposition of the sprayed droplets. The value of T of thin films increased when substrate temperature increased from 320 °C to 400 °C due to the increasing crystalline. At higher temperature, T decreased due to solvent vaporizes before the droplets reach the substrate. These results were similar to those found in literature [8, 17].

The main absorption can be used to define the materials E_g [25]. The molar absorption coefficient (α) can be counted from the Lambert-Beer law [26]; $\alpha = \ln[(1/T)/t]$. And that coefficient changes with photon energy (hv) in term of $\alpha hv = A(hv - E_g)^n$ formula where A is related to the effective mass associated with the E_g and n is equal to 1 for a direct gap and 2 for an indirect gap material [27]. The direct E_g values were found by extrapolating the linear portion of these $(\alpha hv)^2$ vs. (hv) and $(\alpha hv)^{1/2}$ vs. (hv) plots to the zero absorption [18]. The E_g values estimated using the absorption spectra are presented in Table 3.

Table3. The T and E_g values of AFTO thin films prepared at different substrate temperature

Substrate Temperature	T _{average} (%) at 700 nm	E _g (eV)
320 °C	57,07	3,10
360 °C	77,64	3,59
400 °C	83,19	3,89
440 °C	72,66	3,53
480 °C	72,26	3,71

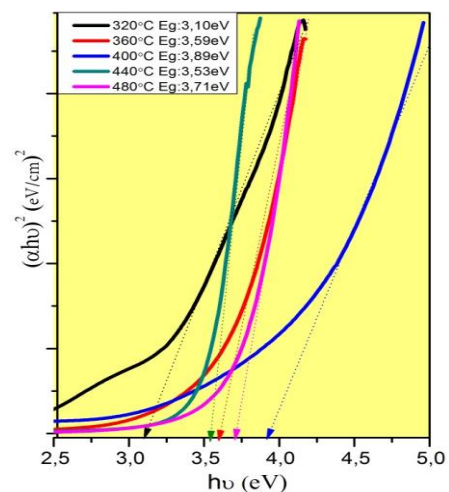


Figure 5. Plots of $(\alpha hv)^2$ versus (hv) for AFTO thin films prepared at different substrate temperatures

From the Table 3 it is observed that AFTO thin films have wide optical band energy about 3.10-3.71 eV at room temperature and direct band gap. Also optical band gap at 400 °C temperatures is the highest values. The reason for the increasing E_g value is due to decreasing band defects according to report declared by Senthilkumar et al. [28]. That means crystallinity of films increased with substrate temperature, diminished defects quantity and gained better crystal orientation. Hence recombination with no-light reduced and the intensity of the peak increased.

Shortly, it must be well adjusted the substrate temperature which affected T and E_g values. Moreover, due to the contribution of quantum size effect regarding thin film, the band gap of SnO₂ thin films larger than the value of 3.62 eV for the bulk SnO₂ [29,30]. Because band defects in crystal were found very low than normally value. E_g values are compatible with literature [8,17,27,31].

Electrical Studies

Ecopia HMS5000/AMP55T Hall probe technique in Vander Pauw configuration at room temperature was used determining of the sheet resistance (R_{sh}), carrier concentration (n), resistivity (ρ), conductivity (σ) and carrier mobility (μ) of these AFTO thin films deposited at different substrate temperature. They have been presented in Table 4. The Average Hall Coefficient measurements confirmed that some of these thin films

have p-type conductivity and also some of them n-type conductivity.

When SnO₂ is doped with Sb, some of the Sn⁺⁴ ions in the lattice are substituted with Sb⁺⁵ ions, since the ionic radius of antimony (62 pm) is similar to tin (71 pm). This substitution of Sb⁺⁵ ions as donor compose a free electron in lattice which results in an increasing in the concentration of free charge carrier (electron) and decreasing the R_{sh} . When the doping ratio increases, some Sb⁺⁵ ions reduce to the Sb⁺³ state. So, the acceptor sites (loss of charge carries) is seen [18, 32, 33].

Sb⁺⁵ ions in role of acceptor (interstitial ions) can trap some free electron in higher quantity of impurities and it was resulted that decreasing in the free charge concentration and so increasing the sheet resistance [8]. Similarly in the case of fluorine doping, the F impurity ions (133 pm) substituted O⁻² anions (132 pm) in the lattice and created free electrons.

Therefore, the films R_{sh} value decreases. But in more F ratio, the R_{sh} increases because the more F atoms cannot act as suitable substitution impurities, but act as interstitial impurity and hence increasing the error (disorder) in the lattice and finally the R_{sh} increases [10,18].

As doping agents such as antimony and fluorine in this report have their own limits to decrease the resistivity, both of these doping agents are deposited in different ratios to find for better conductivity condition [18].

Table4. Various electrical parameters of SnO₂:Sb:F/AFTO thin films prepared at different substrate temperatures

Substrate Temperatures	R_{sh} (m Ω /cm ²)	n (x10 ¹⁹ /cm ³)	ρ (Ω .cm)	σ (S/cm)	μ (cm ² /V.s)
320 °C	161	86,3	3.61E-02	2.77E+01	4.20E+00
360 °C	31,8	-7,45	1.85E-02	5.39E+01	4.09E+01
400 °C	28,8	3,84	5.98E-03	2.27E+02	3.82E+01
440 °C	149	-12,12	2.05E-02	4.87E+01	8.38E+00
480 °C	153	-23,08	2,53E-02	3,95E+01	4,03E+00

Sheet resistance (R_{sh}), carrier concentration (n), resistivity (ρ), conductivity (σ) and carrier mobility (μ)

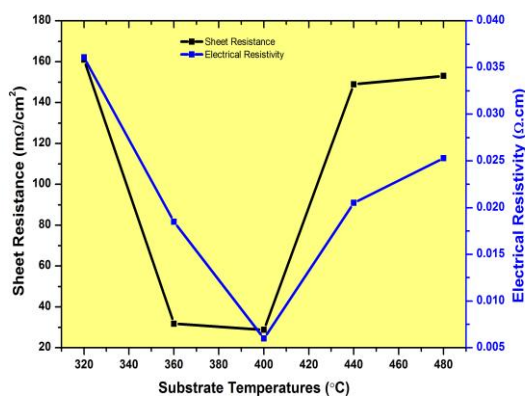


Figure 6. Some electrical parameters of SnO₂:Sb:F/AFTO thin films prepared at different substrate temperatures

The films R_{sh} depend on fluorine and antimony ion doping in SnO₂ lattice or interstitial site as a role of donor or acceptor, respectively, [34]. The variations of R_{sh} and electrical resistivity (ρ) with substrate temperature are seen in Figure 6. Both have same trend as a function of the substrate temperature like

The films R_{sh} depend on fluorine and antimony ion doping in SnO₂ lattice or interstitial site as a role of donor or acceptor, respectively, [34]. The variations of R_{sh} and electrical resistivity (ρ) with substrate temperature are seen in Figure 6. Both have same trend as a function of the substrate temperature like decreasing with increasing substrate temperature and then increasing at higher temperature. This variation compatible with XRD results is due to the proper improvement in the film crystallinity.

In the case of higher solution concentration and higher doping of F, the films have lesser R_{sh} value. It may be due to the predominant role of oxygen vacancies over the substitutional incorporation of F^- ions. Similar results were found in other studies [11, 17, 35]. On the other hand, it was reported by Chinnappa et al. [17] that which in the starting solution Sb doping does not affect R_{sh} value in the AFTO, in this work we found that Sb doping influenced (was increased) the values of R_{sh} compared to our previous study [11].

Also, it is seen that the carrier concentration (n) decreases with increasing temperature and after 400 °C increases. Therefore, the transparency values in the visible region are also high. Otherwise, transparency is reduced with an excessive amount of carrier concentration, but near IR region reflectivity has improved [36]. Kojima et al. [33] reported that T value increased due to reduced solution concentration. In short, it was concluded that the electrical properties are affected by the substrate temperature.

The negative value of the (n) prepared in 0.05 M concentration and (101) peaks dominance in thin films is reached as the result that some these films show p type conductivity instead of n type conductivity. This is the case with Gupta et al. [37] and Ravichandran et al. [38]. Already Kawazoe et al. [39] reported that research on such TCO materials continued [37]. The ideal p-type TCO materials should have higher transparency and conductivity was mentioned by Ravichandran et al. [38] and Benouis et al. [40]. For this reason, an intensive effort has made to investigate p-type conductivity studies. At the same time doubly doped tin oxide with p-conductivity was reported for the first time in this report.

Conductivity (σ) and carrier mobility (μ) is increasing with substrate temperature and then decreasing for higher temperature. The increasing reason carrier mobility is that the effect of increasing grain size or concerned to doping of Sb and F where previously discussed at Figure 5. Because, the grain boundary and ion impurity scattering effect mobility [41]. In same time, second scattering which limits the mobility is the dominant mechanism [10]. However, the mobility of the films with high doped rating was lower than that of the films with less doped due to interstitial scattering due to the excessive doped of fluorine.

These results are match with the previous reports i.e. substrate temperature decides the SnO_2 film stoichiometric variation. But, if substrate temperature increasing much the film starts non-stoichiometric state which behaviors that the surface mobility was enhanced and thus the grain size become larger. So, grain boundaries reduced and mobility enhanced [10,42].

Photoluminescence (PL) Studies

PL measurements provide information about band transitions and imperfections in the structure. To identify that, thin films excited at 300 nm. A room temperature PL spectrum of AFTO thin films was recorded as shown in Figure 7. It was found that a

strong blue emission band around 347 nm (3.57 eV) and low intense three peaks around 397 nm (3.12 eV), 450 nm (2.76 eV) and 469 nm (2.65 eV) in all films.

Origin of 3.57 eV peak is exciton emission inside rutile SnO_2 structure [43]. Intensity of this peak is power than in our previous study. PL band at 397 nm can be related to the electron transfer from the donor level to the acceptor level [44]. In spray polycrystalline oxides, oxygen vacancies are accepted common defects and composed the donor level [45]. Also, some researchers have reported that SnO_2 thin films has a broad dominant peak near 396 nm (about 3.14 eV), which assigned with luminescent centers such as nanocrystals and defects [46]. Also Gnanam and Rajendran [47] said to Cheng et al. [48] proposed that 452 nm band may be concerned to crystal defects or defect levels associated with oxygen vacancies or tin interstitials. A 469 nm peak related to blue luminescence and can be assigned to singly charged O_2 vacancies or luminescent centers [49].

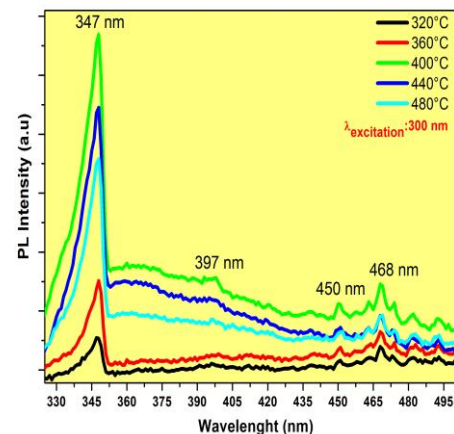


Figure 7. PL emission spectra of $SnO_2:Sb:F/AFTO$ thin films prepared at different substrate temperature

It was found from PL graphs that maximum PL intensity of film deposited at 400 °C is located at about 347 nm and this is corresponding to about 3.57 eV (optical E_g), but it was found the E_g value of films at 400 °C was to be about 3.89 eV. This discrepancy in band gap energy value would be due to the fact more defects which located in the band gap [50]. But, any detailed explanation about these results in conflict with each other was not been identified.

The improvements in the crystal with increasing substrate temperature (diminished defect density, improved crystal orientation) have resulted in increased energy and intensity of the PL emission. But, there was so very slight shift to a UV region for strong peak due to decreasing defects with the substrate temperatures. Because, the UV shift can be attributed to the increased crystallinity and a higher carrier concentration [51]. These values are like to the results reported by previous reports [19,52,53].

CONCLUSION

In this paper, two layers of doped SnO₂:Sb:F/AFTO low doped and low solution concentration thin films have been successfully prepared by using homemade, simple and easy spray pyrolysis method at different substrate temperatures. From the XRD spectra, it was found that these films were polycrystalline and had a rutile quadrangular structure with three main peaks having planes (110), (200) and (210). The grain size of the thin films ranged between 38.1 nm and 42.7 nm. The surface morphology was investigated by SEM and AFM, and the films were found to have nano-particulate structure. Hall Effect revealed that some of these thin films had p-type conductivity (no report for doubled doped films) and some had n-type conductivity. The optical transmittance of the films was between 60% and 80%, and the optical band gap of these films varied from 3.1 eV to 3.89 eV, depending on the substrate temperature. All structural and morphological properties of AFTO thin films have demonstrated that they can have optimum properties with appropriate doping concentration and these films have the potential to be used as an alternative product in TCO applications.

REFERENCES

- [1] Zhao G., Zhi X., Ren Y., Zhu T. Preparation of Sb:F:SnO₂ Films and their Application in Low-E glass. *Materials Science Forum*. 620-622 5-8, 2009.
- [2] Song J.E., Kang Y.S. Synthesis of Indium Tin Oxide Nanoparticles and application to near IR-reflective film. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 818 1-14, 2004.
- [3] a)Velasquez C., Ojeda M.L., Campero A. Surfactantless synthesis and textural properties of self-assembled mesoporous SnO₂. *Nanotechnology*. 17 3347-3358, 2006. b)Ibrahim-Ouali M., Dumur F. Recent Advances on Metal-Based Near-Infrared and Infrared Emitting OLEDs. *Molecules*. 24 1412-1451, 2019.
- [4] Ouerfelli J., Djjobob S.O., Bernede J.C., Cattinb L., Morsli M., Berredjem Y. Organic light emitting diodes using fluorine doped tin oxide thin films, deposited by chemical spray pyrolysis, as anode. *Materials Chemistry and Physics*. 112 198-201, 2008.
- [5] a)Arias A.C., R. de Lima J., Hümmelgen I. A., Tin Oxide as a Cathode in Organic Light-Emitting Diodes. *Adv. Mater.* 10 392-394, 1998. b) Hegazy, A.R., Salameh B., Alsmadi A.M. Optical Transitions and photoluminescence of fluorine-doped zinc tin oxide thin films prepared by ultrasonic spray pyrolysis. *Ceramics International*. 45 19473-19480, 2019. c) Asl H.Z., Rozati S.M. High-quality spray-deposited fluorine-doped tin oxide: effect of film thickness on structural, morphological, electrical, and optical properties. *Applied Physics A-Materials Science & Processing*. 125 689, 2019. d) Erken O, Ozkendir O.M., Gunes M., Harputlu E, Ulutas C., Gumus C. A study of the electronic and physical properties of SnO₂ thin films as a function of substrate temperature. *Ceramics International*. 45 15 19086-19092, 2019.
- [6] Brown J.R., Haycock P.W., Smith L.M., Jones A.C., Williams E.W. Response behaviour of tin oxide thin film gas sensors grown by MOCVD. *Sens. Act. B.* 63 109-114, 2000.
- [7] Yuwono A.H., Arini T., Lalasari L.H., Sofyan N., Ramahdita G., Nararya A., Firdiyono F., Andriyah L., Subhan A., The effect of various precursors and solvents on the characteristics of fluorine-doped tin oxide conducting glass fabricated by ultrasonic spray pyrolysis. *International Journal of Technology*. 7 1336-1344, 2017.
- [8] Mokaripoor E., Bagheri-Mohagheghi M.M. Effect of very low to high Sb-doping on the structural, electrical, photoconductive and thermoelectric properties of fluorine-doped SnO₂ (FTO) thin films prepared by spray pyrolysis technique *Mater Sci: Mater Electron* 27 2305-2314, 2016.
- [9] Ohgaki T., Matsuoka R., Watanabe K., Matsumoto K., Adachi Y., Sakaguchi I., Hishita S., Ohashi N., Haneda H., Synthesizing SnO(2) thin films and characterizing sensing performances. *Sens. Actuators B.* 150 99-104, 2010.
- [10] a) Thangaraju B. Structural and electrical studies on highly conducting spray deposited fluorine and antimony doped SnO₂ thin films from SnCl₂ precursor. *Thin solid film*. 402 71-78, 2002. b) Wongcharoen N. and Gaewdang T. Co-existence of F and Sb dopants in transparent conducting SnO₂ thin films prepared by ultrasonic spray pyrolysis method. *Proceedings of ISES solar world congress 2007: Solar energy and human settlement*. 3 1269-1275, 2007.
- [11] Battal A., Tatar D., Kocyigit A., Duzgun B. Effect of substrate temperature on some properties doubly doped tin oxide thin films deposited by using spray pyrolysis. *Material Focus*. 4 445-456, 2015.
- [12] Sinha S.K., Bhattacharya R., Ray S.K., Manna I. Influence of deposition temperature on structure and morphology of nanostructured SnO₂ films synthesized by pulsed laser deposition. *Material Letters*. 65 146-149, 2011.
- [13] Chung W.Y., Shim C.H., Choi S.D., Lee D.D., Tin oxide microsensor for LPG monitoring. *Sens. Act.* 20 139-143, 1994.
- [14] Hong C-S, Park H-H, Moon J., Park H-H. Effect of metal (Al, Ga, and In)-dopants and/or Ag-nanoparticles on the optical and electrical properties of ZnO thin films. *Thin Solid Films*. 515 957-960, 2006.
- [15] Ravichandran K., Mohan R., Jabena Begum N., Snega S., Swaminathan K., Ravidhas C., Sakthivel B., Varadharajaperumal S. Impact of spray flux density and vacuum annealing on the transparent conducting properties of doubly doped (Sn plus F) zinc oxide films deposited using a simplified spray technique. *Vacuum*. 107 68-76, 2014.
- [16] Karanjai M.K., Gupta D.D. A simple and novel technique for the deposition of conducting tin dioxide films. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 21 356-358, 1998.
- [17] Chinnappa L., Ravichandran K., Sakthivel B., Investigation on doubly doped (fluorine+antimony) tin oxide films deposited by a simplified spray pyrolysis Technique. *Pro Indian Natn. Science Academic* 79 409-415, 2013.
- [18] Ravichandran K., Muruganatham G., Sakthivel B., Philominathan P., Nanocrystalline doubly doped tin oxide films deposited using a simplified and low-cost spray technique for solar cell applications. *Journal of Ovonic Research*. 5 63-69, 2009.
- [19] Moholkar A.V., Pawara S.M., Rajpureb K.Y., Almaric S.N., Patil P.S., Bhosale C.H., Solvent-dependent growth of sprayed FTO thin films with mat-like morphology. *Solar Energy Mater. Solar Cells*. 92 1439-1444, 2008.
- [20] Moholkar A.V., Pawara S.M., Rajpureb K.Y., Bhosale C.H., Effect of solvent ratio on the properties of

- highly oriented sprayed fluorine-doped tin oxide thin films. *Mater. Lett.* 61 3030-3036, 2007.
- [21] Shinde S.S., Shinde P.S., Pawar S.M., Mohalkar A.V., Bhosale C.H., Rajpure K.Y. Physical properties of transparent and conducting sprayed fluorine doped zinc oxide thin films. *Solid State Science*. 10 1209-1214, 2008.
- [22] Shanthi S., Subramanian C., Ramasamy P. Investigations on the Optical Properties of Undoped, Fluorine Doped and Antimony Doped Tin Oxide Films. *Cryst. Res. Technol.*, 34 1037-1046, 1999.
- [23] Shen C.M., Zhang X.G., Li H.L. Influence of different deposition potentials on morphology and structure of CdSe films. *Appl. Surf. Sci.* 240 34-41, 2005.
- [24] Prabahar S., Dhanam M. CdS thin films from two different chemical baths - structural and optical analysis. *J. Cryst. Growth*. 285 41-48, 2005.
- [25] Pankove J.I., *Optical Processes in Semiconductors*, Prentice-Hall Press, New Jersey, 1971.
- [26] Manificier J.C., De Murcia M., Fillard J.P. Optical and electrical-properties of SnO₂ thin-films in relation to their stoichiometric deviation and their crystalline-structure. *Thin Solid Films*. 41 127-135, 1977.
- [27] Elangovan E., Ramamurthi K. A study on low cost-high conducting fluorine and antimony-doped tin oxide thin films. *Appl. Surf. Sci.* 249 183-196, 2005.
- [28] Senthilkumar V., Vickraman P., Prince J.J., Jayachandran M., Sanjeeviraja C. Effects of annealing temperature on structural, optical, and electrical properties of antimony-doped tin oxide thin films. *Phil. M. Letters* 90 337-347, 2010.
- [29] Gu F., Wang S.F., Lu M.K., Cheng X.F., Liu S.W., Zhou G.J., Xu D., Yuan D.R. Luminescence of SnO₂ thin films prepared by spin-coating method. *Journal Crystal Growth*, 262 182-185, 2004.
- [30] Frohlich D., Klenkies R., Helbig R. Band-gap assignment in SnO₂ by 2-photon spectroscopy. *phys. Rev. Lett.* 41 1750-1751, 1978.
- [31] Park S.S., Zheng H., Mackenzie J.D., Sol-gel derived antimony-doped tin oxide coatings on ceramic cloths. *Mat. Letters*, 22 175-180, 1995.
- [32] Gaewdang T., Wongcharoen N. Growth and characterization of Co-doped fluorine and antimony in tin oxide thin films obtained by ultrasonic spray pyrolysis. *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, 1 592-601, 2007.
- [33] Kojima M., Kato H., Gatto M. Blackening of tin oxide thin films heavily doped with antimony. *Phil. Mag. B.* 68 215-222, 1993.
- [34] Chambers S.A., Droubay T.C., Wang C.M., Rosso K.M., Heald, S.M., Schwartz D.A., Kittilstved, K.R., Gamelin D.R. Ferromagnetism in oxide semiconductors. *Mater. Today*. 9 28-35, 2006.
- [35] Chinnappa L., Ravichandran K., Saravanakumar K., Muruganatham G., Sakthivel B. The combined effects of molar concentration of the precursor solution and fluorine doping on the structural and electrical properties of tin oxide films. *Journal Material Science Material Electron.* 22 1827-1834, 2011.
- [36] Zhang B., Tian Y., Zhang J.X., Cai W. The FTIR studies on the structural and electrical properties of SnO₂:F films as a function of hydrofluoric acid concentration *Optoelectronics and advanced materials-rapid communications.* 4 1158-1162, 2010.
- [37] Gupta S., Yadav B.C., Dwivedi P.K. Das B. Microstructural, optical and electrical investigations of Sb-SnO₂ thin films deposited by spray pyrolysis. *Materials Research Bulletin.* 48 3315-3322, 2013.
- [38] Ravichandran K., Thirumurugan K., Begum N.J., Snega S. Investigation of p-type SnO₂:Zn films deposited using a simplified spray pyrolysis technique. *Superlattices and Microstructures.* 60 327-335, 2013.
- [39] Kawazoe H., Yanagi H., Ueda K., Hosono H. Transparent p-type conducting oxides: Design and fabrication of p-n heterojunctions. *MRS Bulletin.* 25 28-36, 2000.
- [40] Benouis C.E., Benhaliliba M., Mouffak Z., Avila-Garcia A., Tiburcio-Silver A., Ortega Lopez M., Romano Trujillo R., Ocaik Y.S. The low resistive and transparent Al-doped SnO₂ films: p-type conductivity, nanostructures and photoluminescence. *Journal of Alloys and Compounds.* 603 213-223, 2014.
- [41] Shanthi S., Anuratha H., Subramanian C., Ramasamy R. Effect of fluorine doping on structural, electrical and optical properties of sprayed SnO₂ thin films. *Journal of Crystal Growth.* 194 369-373, 1998.
- [42] Ellmer K. Resistivity of polycrystalline zinc oxide films: current status and physical limit. *J. Phys. Rev. D.* 34 3097-3108, 2001.
- [43] Pan S.S., Tian Y.H., Luo Y.Y., Zhang Y.X., Wang S., Li G.H. Surface localized exciton emission from undoped SnO₂ nanocrystal films. *Appl. Phys. Lett.* 97 221105, 2010.
- [44] Shinde S.S., Shinde P.S., Sathe V.G., Barman S.R., Bhosale C.H., Rajpure K.Y. Electron-phonon interaction and size effect study in catalyst based zinc oxide thin films *Journal Mol Struct.* 984 186-193, 2010.
- [45] Babar A.R., Shinde S.S., Moholkar A.V., Bhosale C.H., Kim J.H., Rajpure K.Y. Sensing properties of sprayed antimony doped tin oxide thin films: Solution molarity. *Journal Alloys Compd.* 509 3108-3115, 2011.
- [46] Kim T.W., Lee D.U., Yoon Y.S. Microstructural, electrical, and optical properties of SnO₂ nanocrystalline thin films grown on InP (100) substrates for applications as gas sensor devices *Journal Applied Physics.* 88 3759-3761, 2000.
- [47] Gnanam S., Rajendran V. Preparation of Cd-doped SnO₂ nanoparticles by sol-gel route and their optical properties. *J Sol-Gel Sci Technol.* 56 128-133, 2010.
- [48] Cheng B., Russell J.M., Shi W.S., Zhang L., Samulski ET. Large-scale, solution-phase growth of single-crystalline SnO₂ nanorods. *J Am Chem Soci.* 126 5972-5973, 2004.
- [49] Rani S., Roy S.C., Karar N., Karar N., Bhatnagar M.C. Structure, microstructure and photoluminescence properties of Fe doped SnO₂ thin films. *Solid State Commun.* 141 214-218, 2007.
- [50] Jeong, J. Choi S-P., Chang C. I., Shin D.J., Park J.S., Lee B-T., Park Y-J., Song H-J. Photoluminescence properties of SnO₂ thin films grown by thermal CVD *Solid State Communications.* 127 595-597, 2003.
- [51] Huang J.L., Pan Y., Chang J.Y., Yau B.S. Annealing effects on properties of antimony tin oxide thin films



- deposited by RF reactive magnetron sputtering. Surf. Coat. Tech. 184 188-193, 2004.
- [52] Babar A.R., Rajpure K.Y. Effect of intermittent time on structural, optoelectronic, luminescence properties of sprayed antimony doped tin oxide thin films. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 112 214-220, 2015.
- [53] Tripathiand A., Shukla R. K. Structural, optical and photoluminescence study of nanocrystalline SnO₂ thin films deposited by spray pyrolysis. Bull. Mater. Sci., 37 417-423, 2014.

The Effect of the Age in using the Brain-Machine Interface

Mehmet Eşref ALKIŞ¹, Hüseyin KOÇ²

¹ İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye

✉: me.alkis@alparslan.edu.tr  0000-0002-3321-2873, Hüseyin KOÇ  0000-0002-3552-6227

Received (Geliş): 30.09.2019

Revision (Düzelme):06.12.2019

Accepted (Kabul):13.12.2019

ABSTRACT

Brain Machine Interface (BMI) especially used for disabled people and military services. However, in the literature review, no study was detected on the relationship between the age of the person using the device and the performance of it. The aim of this study is to detect whether age is important in controlling a robot using BMI or in which age range this control is more efficient. The study was carried out with 45 healthy male subjects (age range: 7-60). The focusing and activating time of each subject was recorded and analysed. The analysis results showed that this time was the shortest in children and the longest in adults. The study results indicated that the time to focus and activate the device increased in parallel with the age, and hence, the children and the young were much better at controlling or activating an external device through BMI.

Keywords: Brain Machine Interface, Electroencephalography, Neurosky Mindwave, Robot

Beyin Makine Arayüzü kullanımında Yaşın Etkisi

ÖZ

Beyin Makine Arayüzü (BMI), özellikle engelli insanlar ve askeri hizmetler için kullanılmaktadır. Fakat yapılan literatür taramasında cihazı kullanan kişinin yaşı ile cihazdan alınan verim arasında herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu araştırmanın amacı, BMI kullanılarak bir robot kontrol edilirken cihazı kullanan kişinin yaşının önemi ve hangi yaş grubunda bu kontrolün daha verimli yapılabildiğini belirlemektir. Çalışma, 45 (7-60 yaş aralığı) sağlıklı erkek denek ile yapıldı. Her deneğin odaklanma ve aracı harekete geçirme süreleri kayıt altına alınarak analiz edildi. Analiz sonuçları, bu sürenin çocuklarda en kısa, yetişkinlerde ise en uzun olduğunu göstermiştir. Çalışmamızın sonuçları, yaşla birlikte odaklanıp aracı harekete geçirme süresinin arttığını ve bundan dolayı yetişkinlere göre çocuklar ve gençler BMI ile harici cihazları ve robotları kontrol etmede veya çalıştırmada daha başarılı olabileceklerini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Beyin Makine Arabirimi, Elektroensefalografi, Neurosky Mindwave, Robot

INTRODUCTION

Brain Machine Interfaces (BMIs) are systems that enable people to use a machine, an electromechanical arm, or a variety of neuroprosthesis without using their muscles [1-3]. The purpose is to control the devices by interpreting the brain wave frequencies with these systems [4-5]. BMI technology, which is considered to be very important, especially for paralyzed patients [6-9]. It has been investigated to using in military in recent years such as in unmanned aerial vehicles, military trainings and operations [10, 11]. The brain, spinal cord and peripheral ganglia had the main components of the central nervous system, and the brain consists of more than 100 billion neurons [12]. Neurons stimulated

electrically process and transmit data with electrical and chemical signals [13, 14]. Different thinking activities result in different brain signal patterns. Brain Computer Interfaces (BCIs) were controlled by direct use of brain signals [15]. Electroencephalography (EEG), near infrared spectroscopy, magnetoencephalography, functional magnetic resonance imaging, local field potentials and similar techniques have used in BCI applications. However, EEG is often preferred because of its simplicity, inexpensiveness, high temporal resolution and being practical in recording, processing and application [16, 17]. In this method, neural interactions are detected with the help of electrodes and transferred to the electronic systems by using special programs [18]. EEG signals vary based on brain activity

status (Figure 1), and collected, processed and interpreted by algorithms. The most commonly used method is the Fast Fourier Transform (FFT). Since FFT converts a signal from temporal quantity into frequency

quantity, brain frequency distributions can be examined [19].

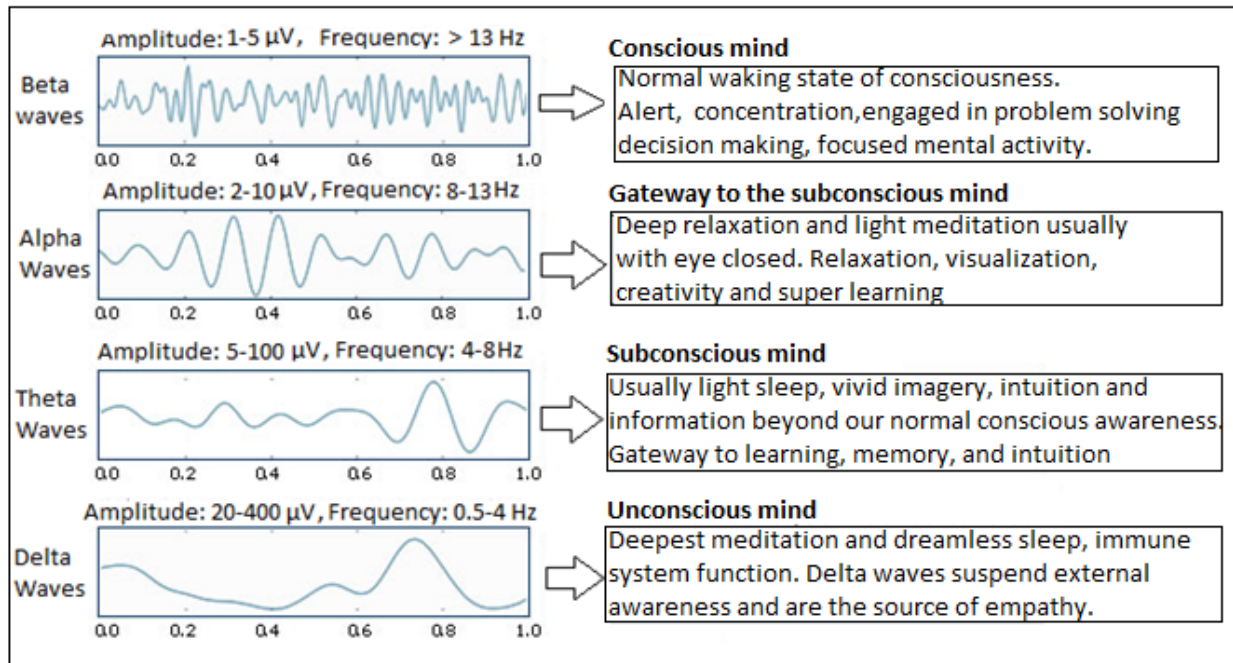


Figure 1. Four EEG brain waves and the states of consciousness

With EEG signals, patient treatment methods are developed and communication is established with electronic devices [17, 20]. General BMI process steps (signal collection, pre-processing, attribute extraction, classification and application) are shown in Figure 2 [1].

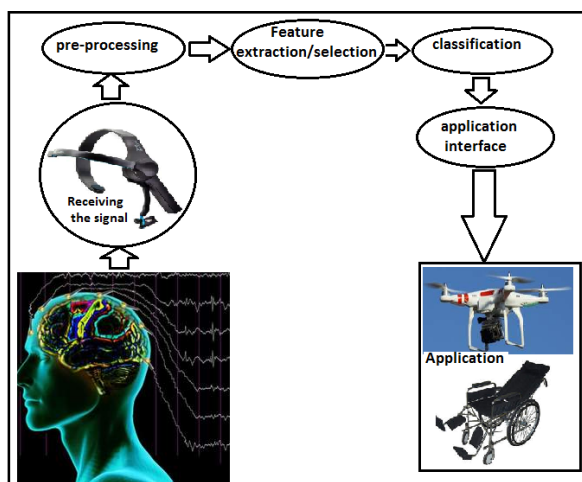


Figure 2. Basic process steps of BMI

EEG recording in children, young people and adults differs depending on brain, cerebellum, skull, scalp, head size and subject's behaviour and ability [21]. Some changes with age occur in the body and the brain [22, 23]. One of these changes was related with cognitive performance [24]. Therefore, the age and development of the person are important in the recording, processing and application of EEG signals. In the literature

research, no study was detected examining the relationship between the age of the user and the performance obtained from the vehicle, robot or machine that works with the EEG signals. Furthermore, BMI is a rapidly growing multidisciplinary (biophysics, neuroscience, computer science, engineering and clinical rehabilitation) research and development technology. In our study, the purpose was to determine whether the age of the person was important when controlling a robot/machine by using BMI. The study is important since it is one of the initial studies in this field.

MATERIAL and METHOD

In the study, Neurosky mobile brain wave receptor device, which can measure real time EEG signals in the brain, was used. This device includes a ThinkGear chip which constitutes the interface between the user's brain and the robot systems. The sensor, which touches the contact and reference points in the forehead and ear, processes all the measured data and transfers these data to the software and applications in digital form. Processing raw brain waves, the attention and meditation values, which are cognitive activities, are calculated in the ThinkGear chip [21]. The technical specifications of this system are accessible from ref. [24] and [25]. Subjects who had brain and nerve disease or underwent any neurological surgery were excluded from the study. However, maximum attention was paid to standardizing parameters such as high temperature, cell phone, chemical exposure, radiation, drugs, and age

of individuals in the groups. The study was performed on 45 healthy male subjects, including 15 children (age range: 7-14), 15 teenagers (age range: 15-24) and 15 adults (age range: 25-60). The mini device that was designed by using Neurosky Mindwave BMI (Figure 3) was introduced to the groups, and the instruction on how to use it was explained.



Figure 3. The vehicle and neurosky mobile brain waves sensor that was used in the study.

Then, in a laboratory medium, the subjects were told to do linear movements to take the device to the point determined by using Neurosky Mindwave BMI, and bring it back. The distance between the subjects and the vehicle was about 60 cm. They were looking and focusing at the test vehicle and trying to move the vehicle with their powers of thought. The stopwatch was used to calculate vehicle activation times. Each subject's focusing and activating time was recorded. These recorded parameters were analyzed, and the success rates of the groups were compared with each other.

Data Analysis

For statistical analysis of the research data, the SPSS (Statistical Package for Social Sciences) was used. To define whether the data fit the normal distribution, the Kolmogorov Smirnov test was applied and the normal distribution of the data was determined. Then, the One-Way Analysis of Variance (ANOVA) was used to determine the significant difference between the groups. A difference at $p < 0.05$ was accepted to be statistically significant.

RESULT and DISCUSSION

The results of the duration of moving the vehicle by focusing (mean \pm standard deviation) and the average age of the participants are given in Table 1.

As seen in Figure 4, the difference between groups was significant at a statistical level ($p < 0.05$). The time to move the vehicle by focusing increased significantly with age. These results show that young people can be more successful in a machine/robot control that works with thought.

BMI, also known as BCI, is a system that enables people to interact with their environment by using control signals generated from EEG activity, without utilizing the muscular and the motor neural systems [27-29]. EEG is a measurement of electrical stimuli of neurons. Therefore, it can be used to examine the cognitive activities of human [20, 30]. In recent years, EEG waves have been used in a variety of applications such as remote robot control, wheelchair control and computer interface control for people with paralysis [15, 31-34].

Table 1. Summary of age and time to move the vehicle by focusing.

Subject	Group 1 (Age 7-14)		Group 2 (Age 15-24)		Group 3 (Age 25-60)	
	Age	Time to move the vehicle by focusing (Second)	Age	Time to move the vehicle by focusing (Second)	Age	Time to move the vehicle by focusing (Second)
1	7	1,53	15	5,58	25	9,17
2	8	2,01	16	6,62	25	10,15
3	8	2,88	16	12,14	26	10,75
4	9	2,05	19	6,89	27	11,53
5	9	2,62	20	7,92	29	11,06
6	10	2,91	20	8,25	30	12,81
7	10	2,58	21	8,01	31	5,68
8	10	2,41	21	9,23	32	13,02
9	11	2,68	21	8,52	36	6,28
10	11	2,48	22	6,11	38	8,38
11	11	2,13	22	14,05	39	10,86
12	13	2,68	23	9,59	45	14,56
13	13	4,25	23	9,65	48	16,18
14	14	5,38	24	5,50	52	17,15
15	14	7,29	24	12,36	59	18,83

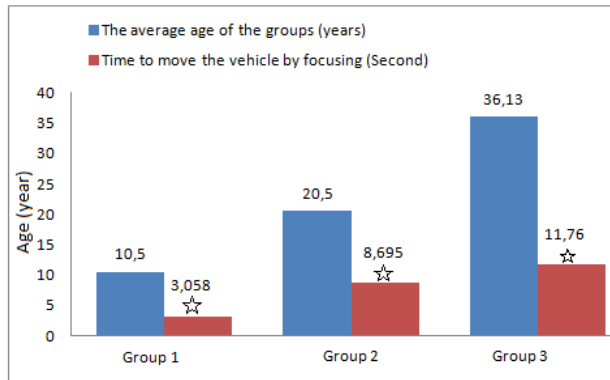


Figure 4. The average age of the groups and time to move the vehicle by focusing. Significant difference was observed between groups ($p < 0.05$). Values were given as Avg. \pm SD. * Show intergroup difference ($p < 0.05$).

In addition, research on BCI technology for therapeutic applications to cure functions in injury at war, and on BCI devices in military and improving performance has been increasing rapidly [10]. Recent developments in EEG technology and BCI offer commercial BCI headset equipment ready for use in many new applications with an acceptable quality-cost ratio. We used BCI headset in the present research and focuses on the importance of the age of the user in controlling a robot that works with brain waves. Especially in unmanned aerial vehicles and robotic applications working with brain-thinking power, the efficiency of the device is vital. Therefore, it is important to understand machine and robots to be used in unmanned aerial vehicles, electronic devices, wheelchairs that can be operated more efficiently, and to determine the age group which may be more effective.

In this study, it was observed that the time to move the vehicle by focusing increased with age. And this increase between groups was statistically significant ($p < 0.05$). The significant increases in time to move the vehicle by focusing may be due to the EEG waves and changes in cognitive functions. Because it is known that changes occur in brain EEG waves with age [21]. And also, normal aging is associated with significant changes in cognitive functions parallel to changes in brain function. Dias et al. [24] reported that the alpha peak frequency decreased with age on the left hemisphere, and was correlated directly to working memory capacity and attention [35]. Our results are in parallel with Dias et al. [24] findings. According to our findings, it is suggested that young pilots should be employed in operations where unmanned aerial vehicles and robot are used.

CONCLUSION

In conclusion, the results of our study show that the time to focus and activate the device increased in parallel with the age, and hence, children and young people may be more successful than adults in controlling or activating an external device through BMI. According to the present study, the age of the

person is important in the communication system between the human brain and an output device. The ages of users should be considered when designing and manufacturing the BMI. The study is expected to be a useful resource for researchers in this field.

REFERENCES

- [1] Dogan A., Calp M.H., Ari E.M., Ozkose H.A. Research on brain- computer interfaces in the scope of human-computer interaction: Properties and working principle, Management information journal. 1 1-10, 2015.
- [2] Nicolas-Alonso L.F., Gomez-Gil J. Brain computer interfaces, a review. Sensors. 12 1211-1279, 2012.
- [3] Patil P.G., Carmena J.M., Nicolelis M.A.L., Turner D.A. Ensemblerecordings of human subcortical neurons as a source of motor control signals for a brain-machine interface. Neurosurgery. 55 27-38, 2004.
- [4] Ulker B., Tabakcioglu M.B. Measurement and evaluation of brainwaves, attention and meditation values via neurosky biosensor. Gaziosmanpasa Journal of Scientific Research. 7 25-33, 2018.
- [5] Prathibha R., Swetha L., Shobha K.R. Brain computer interface: Design and development of a smart robotic gripper for a prosthesis environment, International Conference on Networks Advances in Computational Technologies (NetACT 2017), 20-22 July, 2017.
- [6] Chaudhary U., Birbaumer N., and Murguialday A.R. Brain-computer interfaces for communication and rehabilitation. Nature reviews neurology. 12 513-525, 2016.
- [7] Lebedev M.A., Nicolelis M.A. Brain-machine interfaces: past, present and future. Trends neurosci. 29 536-546, 2006.
- [8] Nicolelis M.A.L. Actions from thoughts. Nature. 409 403-407, 2001.
- [9] Nicolelis M.A.L. Brain-machine interfaces to restore motor function and probe neural circuits. Nature Rev. Neurosci. 4 417-422, 2003.
- [10] Kotchetkov I.S., Hwang B.Y., Appelboom G., Kellner C.P., and Connolly E.S. Brain-computer interfaces: military, neurosurgical, and ethical perspective. Neurosurg focus. E25, 2010.
- [11] Shi T., Wang H., Zhang C. Brain computer interface system based on indoor semi-autonomous navigation and motor imagery for unmanned aerial vehicle control. Expert Systems with Applications. 42 4196-4206, 2015.
- [12] Arthur C. Guyton. Textbook of Medical Physiology. 11th ed. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 2006
- [13] Guyton A.C., Hall J.E. Guyton and Hall textbook of medical physiology. 12th edition. Elsevier inc. Philadelphia, 2013.
- [14] Onesto V., Cosentino C., Di Fabrizio E., Cesarelli M., Amato F., Gentile F. Information in a network of neuronal cells: Effect of cell density and short-term depression. BioMed Research International. 1-12, 2016.
- [15] Nicolelis M.A.L., Lebedev M.A. Principles of neural ensemble physiology underlying the operation of brain-machine interfaces. Nature Reviews Neuroscience. 10 530-540, 2009.
- [16] Oberman L.M., McCleery J.P., Ramachandran V.S., Pineda J.A. EEG evidence for mirror neuron activity during the observation of human and robot actions: Toward an analysis of the human qualities of interactive robots. Neurocomputing. 70 2194-2203, 2007.
- [17] Aydemir O., Kayikioglu T. EEG-based brain computer interfaces. XI. academic informatics conference presentations, Şanlıurfa, Turkey, 11-13 February, 2009.
- [18] Vourvopoulos A., Liarokapis F. Evaluation of commercial brain-computer interfaces in real and virtual



- world environment: A pilot study. *Computers and Electrical Engineering*. 40 714-729, 2014.
- [19] Katona J., Farkas I., Ujbanyi T., Dukan P., Kovari A. Evaluation of the neurosky mindflex EEG headset brain waves data. 2014 IEEE 12th international symposium on applied machine intelligence and informatics (SAMI). 91-94, 2014.
- [20] Wolpaw J.R., Birbaumer N., McFarland D.J., Pfurtscheller G., Vaughan T.M. Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*. 113 767-791, 2002.
- [21] Britton J.W., Frey L.C., Hopp J.L. *Electroencephalography (EEG): An introductory text and atlas of normal and abnormal findings in adults, children, and infants*. Chicago: American epilepsy society, 2016.
- [22] Borsani E., Vedova A.M.D., Rezzani R., Rodella L.F., Cristini C. Correlation between human nervous system development and acquisition of fetal skills: An overview. *Brain Dev*. 41 225-233, 2018.
- [23] Chaudhury S., Sharma V., Kumar V., Nag T.C., Wadhwa S. Activity-dependent synaptic plasticity modulates the critical phase of brain development. *Brain and Development*. 38 355-363, 2016.
- [24] Dias N.S., Ferreira D., Reis J., Jacinto L.R., Fernandes L., Pinho F., et al. Age effects on EEG correlates of the wisconsin card sorting test. *Physiological reports*. 3, e12390, 2015.
- [25] <https://store.neurosky.com/pages/mindwave>, 25.11.2019
- [26] http://developer.neurosky.com/docs/lib/exe/fetch.php?media=mindwave_user_guide_en.pdf, 05.12.2019
- [27] Fouad M.M., Amin K.M., El-Bendary N., and Hassanien A.E. Brain computer interface: A review. *Brain-computer interfaces book*. 1 1-28, 2014.
- [28] Velliste M., Perel S., Spalding M.C., Whitford A.S., Schwartz A.B. Cortical control of a prosthetic arm for self-feeding. *Nature*. 453 1098-2101, 2018.
- [29] Moritz C.T., Perlmutter S.I., Fetz E.E. Direct control of paralysed muscles by cortical neurons. *Nature*. 456 639-642, 2008.
- [30] Chia W.C., Alfred L.C.K., Chin S.W. A mobile driver safety system analysis of single channel EEG on drowsiness detection. *International Conference on Computational Science and Technology (ICCST)*. 1-5, 27-28 August, 2014.
- [31] Tariq M., Trivailo P. M. and Simic M. EEG-Based BCI Control Schemes for Lower-Limb Assistive-Robots, *Frontiers in Human Neuroscience*. 12, 6 August, 2018.
- [32] Millan J.J., Del R., Galan F., Vanhooydonck D., Lew E., Philips J., Nuttin M. Asynchronous non-invasive brain-actuated control of an intelligent wheelchair. *Conf.proc. IEEE Eng Med Biol Soc*. 3361-3364, 2009.
- [33] Aydemir O., Ergün E. A robust and subject-specific sequential forward search method for effective channel selection in brain computer interfaces, *Journal of Neuroscience Methods*. 313 60-67, 2019.
- [34] Abut T., Soygüder S., Interface Design and Performance Analysis for a Haptic Robot, *MSU J. Sci*. 6 553-560, 2018.
- [35] Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain res rev*. 29 169-195, 1999.

Performance of the NeQuick 2 model during the geomagnetic storm

Selçuk SAĞIR¹, Ramazan ATICI²

¹ Department of Physics, Faculty of Science and Art, Mus Alparslan University, Mus, Turkey

² Department of Primary Education, Faculty of Education, Mus Alparslan University, Mus, Turkey

✉: s.sagir@alparslan.edu.tr  0000-0002-5698-0154, Ramazan ATICI  0000-0001-7884-0112

Received (Geliş): 25.11.2019

Revision (Düzelme): 05.12.2019

Accepted (Kabul): 18.12.2019

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the performance of NeQuick 2 model during geomagnetic storm process. For this purpose, vertical total electron content (VTEC) values obtained from NeQuick 2 model and GPS (Global Positioning System) receiver were compared for five stations selected from 5 different latitude regions during 05-09 September 2017. Comparison was made by correlation, root mean square error (RMSE) and difference taking methods. The variation of VTEC values obtained by NeQuick 2 and GPS is generally similar, although there are phase shifts and amplitude differences. The maximum correlation was observed in the equator region on the quiet days before the storm (September 5-6), but the correlation coefficient decreased as it moved away from the equator. The maximum correlation coefficient was calculated at the mid-latitude of the southern hemisphere during the initial, main and return phases of the storm. In addition, the lowest correlation was determined at high latitudes of the northern hemisphere. At all stations (except NYAL station on 05, 07, 08 / 09/2017), the maximum value of the calculated difference is smaller than the minimum value. When the GPS VTEC values are higher than the NeQuick 2 model values, the difference is generally low, on the contrary when the NeQuick 2 model values are greater than the GPS VTEC values, the difference is quite large. This shows that the NeQuick 2 model generally overestimates the TEC values.

Keywords: Geomagnetic storm, GPS TEC, NeQuick 2 model

Jeomanyetik fırtına süresince NeQuick 2 modelin performansı

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, NeQuick 2 modelinin jeomanyetik fırtına sürecinde performansını değerlendirmektir. Bu amaçla, NeQuick 2 modelinden ve GPS alıcısından elde edilen dikey toplam elektron içeriği (VTEC) değerleri 05-09 Eylül 2017 tarihleri arasında 5 farklı enlem bölgesinden seçilen beş istasyon için karşılaştırıldı. Karşılaştırma korelasyon, kök ortalama kare hatası (RMSE) ve fark alma yöntemleri ile yapıldı. NeQuick 2 ve GPS tarafından elde edilen TEC değerlerinin değişimi, faz kaymaları ve genlik farkları olmasına rağmen, genellikle benzerdir. Maksimum korelasyon fırtına öncesi sakin günlerde ekvator bölgesinde gözlenirken (5-6 Eylül) ekvatordan uzaklaştıkça korelasyon katsayısı azalmıştır. Maksimum korelasyon katsayısı fırtınanın başlangıç, ana ve dönüş evrelerinde güney yarımkürenin orta enleminde hesaplanmıştır. Ek olarak, en düşük korelasyon kuzey yarımkürenin yüksek enlemlerinde belirlendi. Tüm istasyonlarda (05, 07, 08 / 09/2017 günlerinde NYAL istasyonu hariç) hesaplanan farkın maksimum değeri minimum değerden daha küçüktür. GPS VTEC değerlerinin NeQuick 2 model değerlerinden daha yüksek olduğu durumlarda, fark genellikle düşüktür, aksine NeQuick 2 model değerleri GPS VTEC değerlerinden daha büyük olduğunda, fark oldukça büyüktür. Bu durum, NeQuick 2 modelinin genellikle TEC değerlerini abarttığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: GPS-TEC, Jeomanyetik fırtına, NeQuick 2 Model

INTRODUCTION

NeQuick is a three-dimensional, time-dependent ionospheric electron density model designed specifically for trans-ionospheric applications, which enables the calculation of the electron concentration at any given location in the ionosphere and the total electron content (TEC) along the beam path by numerical integration from any location to the satellite. The latest version of this model is NeQuick 2 [1]. Modeling and estimation of time and space-dependent changes in TEC, a critical quantity defining ionosphere

and its variability, is of important for the investigation of the physical change of the ionosphere and for applications related to ionosphere [2]. Numerous studies have been conducted on the determination of ionospheric parameters using empirical models that can define the general state of the ionosphere without the need for real data. Some of these studies include ionosphere experimental models such as Klobuchar, NeQuick, Standard Plasmasphere Ionosphere Model (SPIM) and International Reference Ionosphere (IRI) [3]. NeQuick was first developed based on the G, Di Giovanni and S.M. Radicella (DGR) profiler (proposed

by [4] and hence the name DGR), and then modified by [5]. A new version of NeQuick (NeQuick 2) is a modified subsection introduced by [6], [7] and [8]. NeQuick 2 model is appreciated for its improved performance in predicting the upper ionosphere, and as a result in the 2007 and later versions of the IRI model have been used the NeQuick's top formulation and adopted the most mature of the different recommendations for calculating the upper part of the IRI electron density profile [9-11]. NeQuick 2 model's prediction performance has been evaluated by many researchers in recent years. For example, Okoh et al. conducted a climatic assessment of the global navigation satellite system (GNSS) observations of NeQuick 2 and IRI-Plas models [12]. Ezquer et al. using vertical total electron content (VTEC) measurements from GPS satellite signals, analyzed the performances of NeQuick 2 and IRI Plas models to predict VTEC in the low latitude and South American sector [13]. As a result of their analysis, they observed that the NeQuick 2 model over-exaggerated TEC values at low latitude stations in the equatorial anomaly region. They also observed that for the region between the northern peak and the valley of the equatorial anomaly, IRI Plas performance was generally better than NeQuick 2 at maximum ionization times. Leong et al. evaluated the performance of IRI-2007, IRI-2012 and NeQuick 2 in the prediction of the ionospheric TEC in Banting [14]. In the studies about the performances of estimating the ionospheric parameters of the NeQuick 2 model, the emphasis is on the necessity of developing this model. In this study, the performances of NeQuick 2 model predicting VTEC values during severe geomagnetic storm process were investigated with various statistical methods. In next part 2 gives detailed information about the geomagnetic storm studied. Then it was expressed how the data used in the calculations obtained, and was

discussed the Result and Discussions and Conclusions sections.

Features Of Severe Geomagnetic Storm On September 7-8, 2017

Figure 1 shows the variation with time of parameters used to define the storm. These parameters are the SYM-H, is use to expression "high resolution DST(Disturbance Strom Time), Proton Flux (PFLX> 10 MeV), Interplanetary Electric Field (IEF Ey), proton density (Np), proton speed (Vp) and the IMF Bz (z component of Interplanetary Magnetic Field). Coronal mass injection released from the sun led to a sudden storm commencement at 23:45 UT. SSC refers to the initial phase of the geomagnetic storm. At the same hour, the SYM-H amplified from 20 nT to 38 nT and the PFLX> 10 MeV value increased from 55.81 to 121.61 (1/cm²s ster), while no other parameters were significantly altered. Then, the IMF Bz value rose to 15.31 nT in the north direction, Vp value to 601.5 km/h, Np value to 12.82 n/cc and IEF Ey value to -8.99 mV/m after approximately one hour from the SSC. After this time, the SYM-H, is value began to decrease, and on 08.09.2017 at 1:08 UT, the lowest value was -146 nT. This value indicates that the main phase of the severe geomagnetic storm has ended. The change of other parameters at the same time is as follows: IMF Bz value increased to about -30 nT, Vp value increased to 750-800 km/h, IEF increased about 20 mV / m and PFLX> 10 MeV 810 (1/cm²s ster). In the recovery phase of this first storm, there was another deviation of -17.46 nT in the south direction in the Bz value at 11:55 UT on September 08 for about 4 hours. Then, SYM-H and Kp values reached -115 nT and 8.33 at 13:56 UT, respectively. Thus, this geomagnetic storm has two main phases.

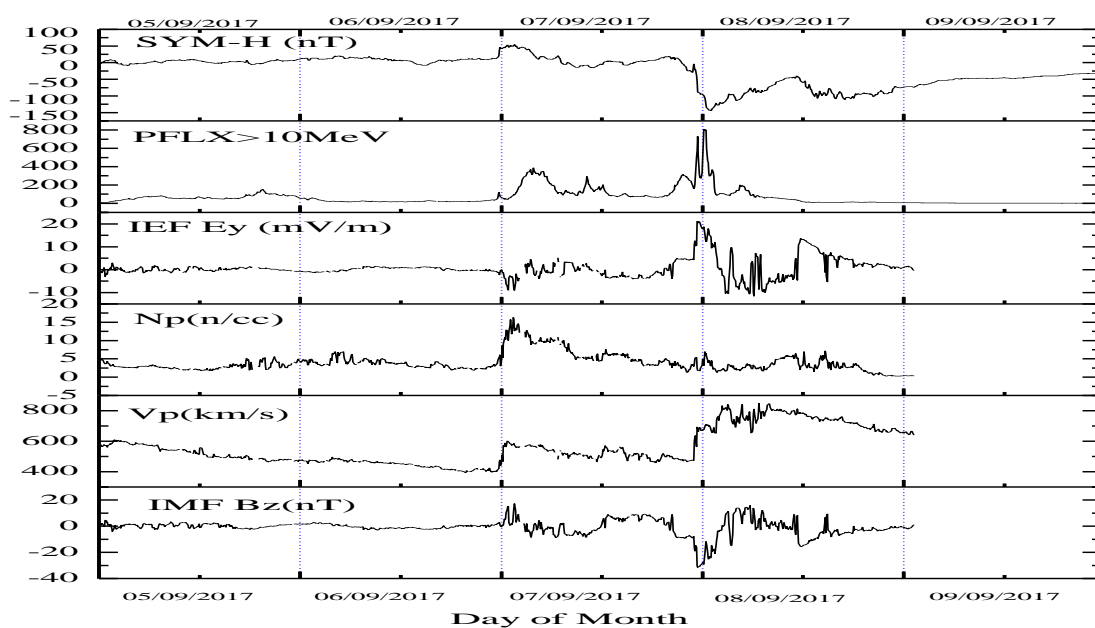


Figure 1. Changed in time of IMF Bz, Vp, Np, IEF Ey, PFLX > 10 MeV and SYM-H indices used in this study on September 5-9, 2017 (Adapted from [15]).

VTEC Data

In the present study, VTEC measurements provided by GPS receivers in RINEX format were used. VTEC values for each station (total of five zones, ie 5 stations

(NYAL (79.83 N, 11.87 E)), MEDI (44.51 N, 1.84 E), NKLG (0.35 N, 9.87 E), SUTM (32.28 S), 20.81 E) and SYOG (69.00 S, 39.58 E)) were obtained with both IONOLAB software and NeQuick 2 model. These stations and their coordinates are given in Table 1.

Table 1. Information on the stations used in this study

No	Station's name	Geographic latitude	Geographic longitude	Magnetic latitude	Magnetic longitude
1	NYAL	78.93	11.87	76.41	129.28
2	MEDI	44.51	11.64	44.72	94.41
3	NKLG	0.35	9.67	1.74	83.15
4	SUTM	-32.38	20.81	-32.65	88.06
5	SYOG	-69.00	39.58	-70.57	87.00

Raw data of GPS date are available in Receiver Independent Exchange Format (RINEX) with a resolution of 30 s. Raw data was processed via the software provided by the Ionospheric Research Laboratory (IONOLAB) group to obtain TEC data. IONOLAB-TEC provides accurate, reliable and robust GPS-VTEC estimation at high latitude, mid- latitude or equatorial GPS stations with the same reliability and accuracy for both quiet and active days (www.ionolab.org) [16-18]. The current version of IONOLAB-TEC, which can be used online or downloaded as *.exe from www.ionolab.org, can estimate the GPS-VTEC at the temporal resolution of any RINEX file. Therefore, if the data in the RINEX file is 1 s or 30 s, IONOLAB-TEC can produce the same temporal resolution. Since only the hourly VTEC values can be obtained by the web version of the NeQuick 2 model, the hourly values of the GPS-VTEC values for each day are used in the present study.

The NeQuick model includes a program that calculates electron density from any ground path to GNSS satellite altitudes of approximately 20200 km and is therefore convenient to compare with GNSS measurements. The latest version of the NeQuick model is the NeQuick 2 model, and in this study, the VTEC values were obtained using the internet interface of this model. The web address of the NeQuick 2 web model is <https://t-ict4d.ictp.it/nequick2/nequick-2-web-model>. When using this web address to obtain VTEC values, the Solar Radio Flux (source: NOAA-NGDC) option was selected from solar activity options. No changes were made to the other options. Thus, VTEC values for 05-09 September 2017 were calculated hourly, including 07/08 September 2017 geomagnetic storm, the most severe geomagnetic storm of the 24th Solar cycle [4, 5, 11].

RESULTS and DISCUSSIONS

The variation of the TEC values calculated by the NeQuick 2 model and measured by GPS for the NYAL station (79.93 N; 11.87 E) located in the upper latitude region of the northern hemisphere is shown in Figure 2. The NeQuick 2 model values exhibit a change that

decreases as expected until sunrise, then the values reaches the maximum of noon and enters a decline again. However, there is a significant difference in the maximum and minimum time and the maximum and minimum TEC values obtained from the NeQuick 2 model and GPS. It was also observed that the NeQuick 2 model was not able to determine the second maximum movement of approximately 15:00 UT to 16:00 UT followed by a reduction of the TEC values following the first maximum at noon. The correlation coefficient between NeQ-TEC and GPS-TEC obtained on 08/09/2017, which includes the main phase of the storm, is $r = 0.44$, which is a very low value. The correlation coefficient is not high on other days. These values are 0.65, 0.72, 0.73 and 0.62 for the days (05, 06, 07 and 09), respectively. These investigations indicate that the NeQuick 2 model still needs to be developed for the northern hemisphere high latitudes, especially for the station under investigation and in geomagnetically stormy situations.

The variation of the TEC values calculated by the NeQuick 2model and measured by GPS for the MEDI (44.51 N; 11.64 E) station in the mid-latitude region of the northern hemisphere is shown in Figure 3. NeQ-TEC and GPS-TEC values reached about same minimum value at approximately the same time on all days. However, the situation is very different at noon, when TEC values are maximum. The values of the NeQ-TEC at noon are quite overestimated on all days, except on the day of the storm. Although there is a difference in amplitude at their maximum, the daily correlation values obtained are high. These values are 0.80, 0.90, 0.89, 0.88 and 0.85 in all days, respectively. However, it can be said that the NeQuick 2 model has overestimated TEC values on all days, except for except the day when the storm begins, namely September 07, 2017.

Figure 4 shows the variation of NeQ-TEC and GPS-TEC values with time for the NKLG station (0.35 N; 9.67 E) on the equator. The NeQ-TEC values exhibit a behavior in the form of camel hump at noon only at this station. It is observed that NeQ-TEC and GPS-TEC values reach the minimum at the about same time and with the about same values on all days, except sunrise

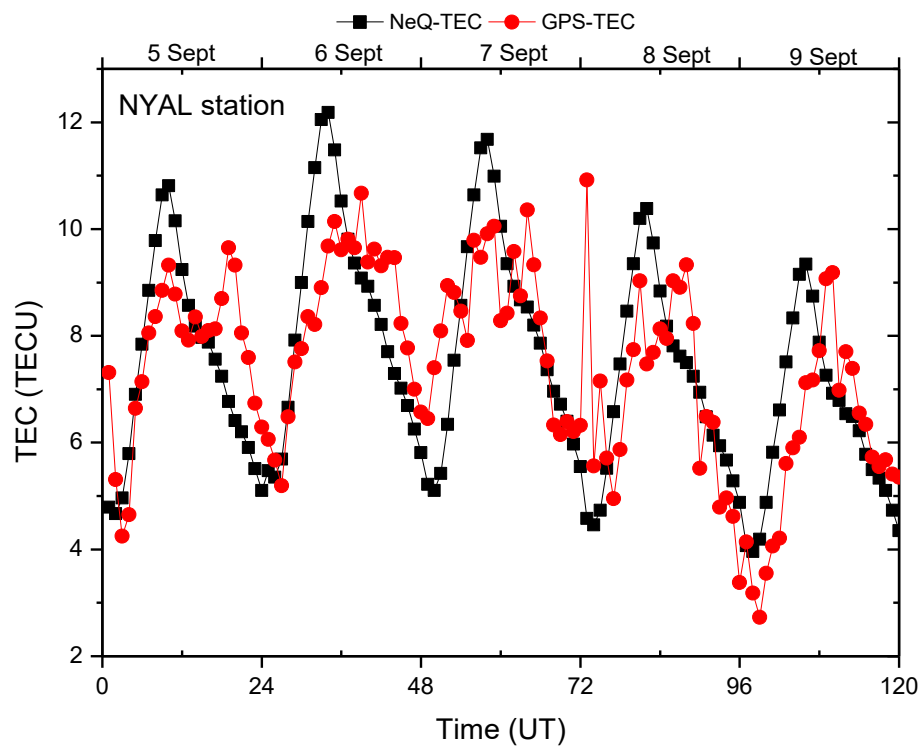


Figure 2. Variation of measured (GPS-TEC) and calculated (NeQ-TEC) TEC values at NYAL station over time.

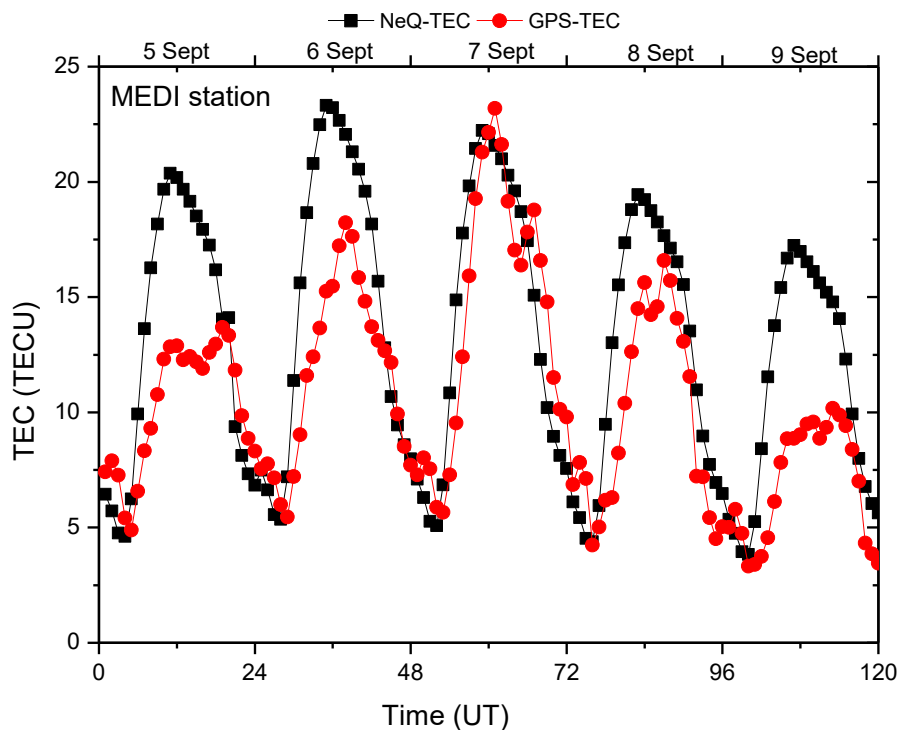


Figure 3. Variation of measured (GPS-TEC) and calculated (NeQ-TEC) TEC values at MEDI station over time.

on September 6. Excluding September 08, it said to be greater NeQ-TEC values than the GPS-TEC ones on other days. However, both TEC changes are very similar. This is also seen with high correlation

coefficients. These coefficients between GPS-TEC and NeQ-TEC are 0.96, 0.92, 0.87, 0.90 and 0.94 on September 05-09, respectively.

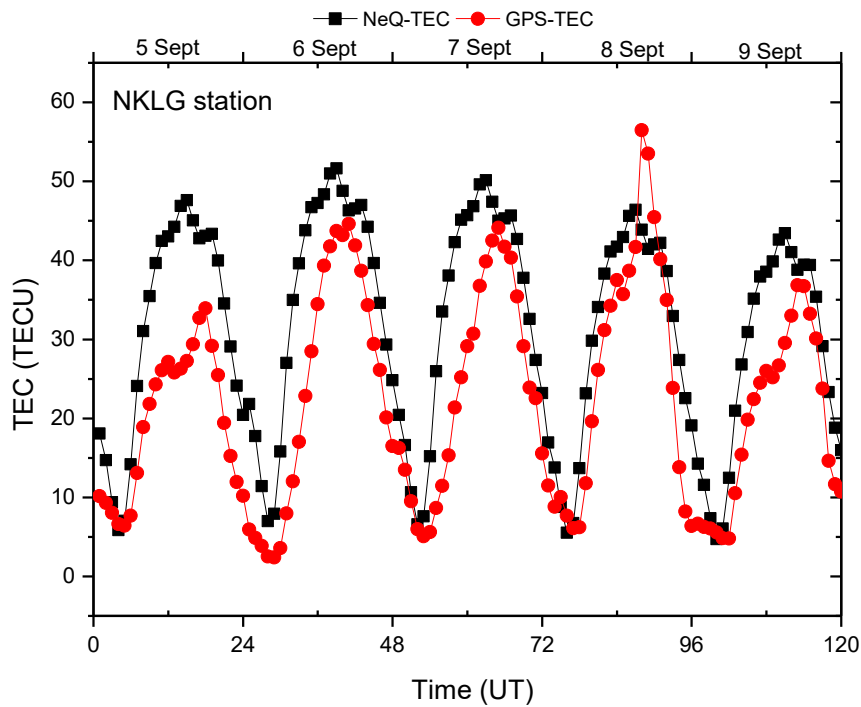


Figure 4. Variation of measured (GPS-TEC) and calculated (NeQ-TEC) values at NKLG station over time.

The variation of TEC values calculated by the NeQuick 2 model and measured by GPS for the SUTM station in the southern latitude region of the southern hemisphere is shown in Figure 5. The variation of NeQ-TEC and GPS-TEC values over time is very similar. The time periods when the TEC values are minimum are very close to each other. Similar situation is not the case on other days, except the main phase of the September 08 storm. The maximum value of NeQ-TEC is greater than

the maximum value of GPS-TEC on other days. The correlation coefficient between NeQ-TEC and GPS-TEC is quite high. These coefficients are 0.94, 0.89, 0.91, 0.95 and 0.98 for September 05, 06, 07, 08 and 09 respectively. The coefficients indicate that the NeQuick model is highly compatible with GPS-TEC, except at noon maxima, especially in the mid-latitude region of the southern hemisphere.

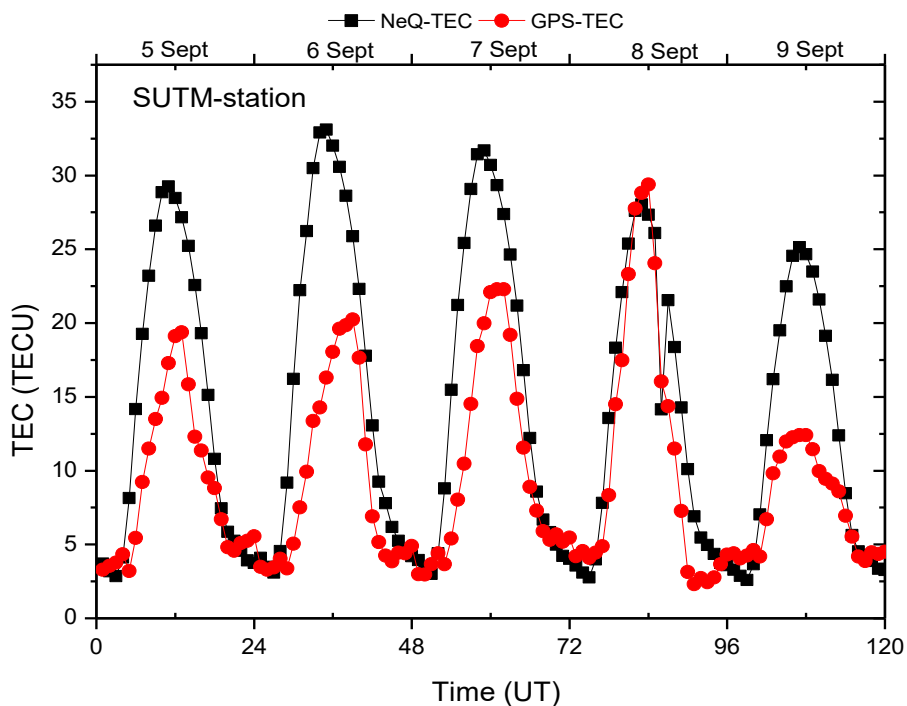


Figure 5. Variation of measured (GPS-TEC) and calculated (NeQ-TEC) values at SUTM station over time.

Figure 6 shows the variation of NeQ-TEC and GPS-TEC values over time for the SYOG station at high latitudes in the southern hemisphere. NeQ-TEC values show a normal daily distribution. However, GPS-TEC values show quite different distributions than normal distribution during the day, especially during sunrise hours. It is seen that the NeQ-TEC and GPS-TEC values are quite different, especially when they take the daily

maximum and minimum values of TEC. It was observed that TEC changes at sunrise could not be determined adequately in the upper latitudes of southern hemisphere for this time period. However, it can be said that NeQ-TEC and GPS-TEC value changes outside this time period are similar. The correlation coefficients between NeQ-TEC and GPS-TEC values for the studied days were 0.84, 0.95, 0.84, 0.83 and 0.89, respectively.

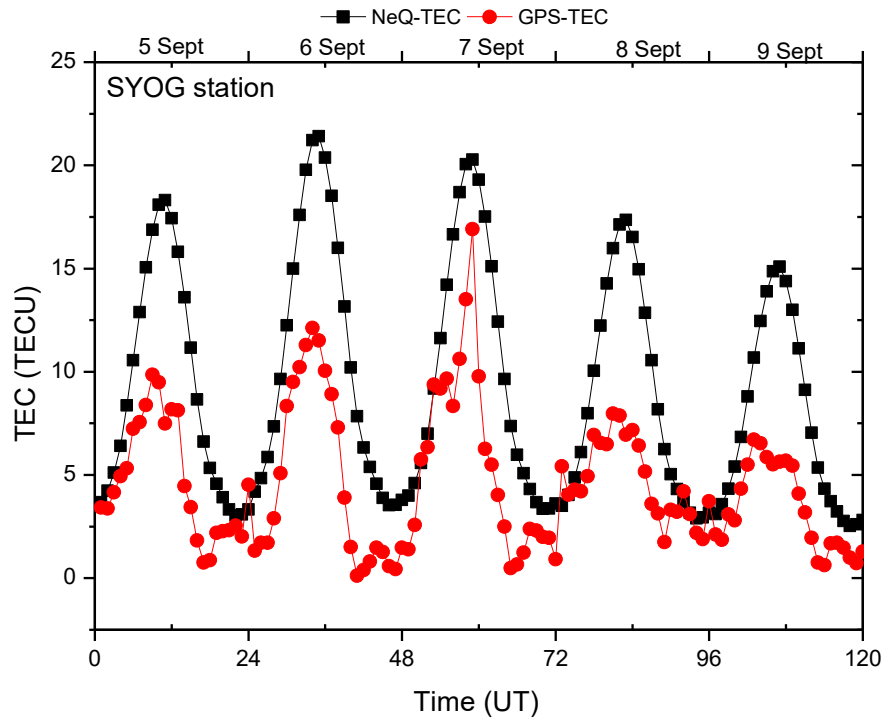


Figure 6. Variation of measured (GPS-TEC) and calculated (NeQ-TEC) TEC values at SYOG station over time.

Table 2. The values of RMSE, R, Maximum (Max) and Minimum (Min) deviation during this geomagnetic storm.

Station	5 sept				6 sept				7 sept				8 sept				9 sept			
	R	RMS	Max	Min	R	RMS	Max	Min	R	RMS	Max	Min	R	RMS	Max	Min	R	RMS	Max	Min
NYAL	0,65	1,43	2,91	-1,79	0,72	1,44	2,17	-3,15	0,73	1,37	2,67	-2,05	0,44	1,89	6,34	-2,91	0,62	1,48	2,26	-3,05
MEDI	0,80	4,76	2,51	-7,53	0,90	4,67	1,60	-8,82	0,89	2,78	4,59	-5,37	0,88	3,71	2,60	-7,31	0,85	5,10	1,04	-8,37
NKLG	0,96	12,98	0,77	-20,60	0,92	12,57	-1,72	-22,94	0,87	11,94	-0,59	-22,74	0,90	8,22	12,61	-14,3	0,94	9,12	0,85	-15,9
SUTM	0,94	7,35	1,81	-13,95	0,89	9,40	0,70	-18,64	0,91	7,38	1,43	-14,95	0,95	3,70	2,06	-7,19	0,98	7,00	1,67	-12,73
SYOG	0,84	5,55	1,21	-10,82	0,95	6,52	-2,31	-10,32	0,84	5,65	0,20	-11,25	0,83	5,39	1,92	-10,4	0,89	5,07	-0,99	-9,45

For comparison and more quantitative interpretation of the results obtained, the results of some statistical procedures including the maximum and minimum deviation and root mean square error (RMSE) test according to the differences between GPS-TEC and NeQuick 2 model were presented in Table 2. As seen on the table, the NeQuick 2 model overestimated the TEC values at all stations and all days, except for 8 Sept. in NYAL station. The reason is that the min values are generally larger than the max values as can be seen from the table. Here, it can be said that when the deviation ($GPS_{TEC} - MODEL_{TEC}$) is positive, the model underestimates the TEC values, and when the deviation is negative, the model overestimates the TEC values. The greatest deviation between the difference values was observed at the NKLK station for all days.

However, in the same station, the excessive exaggeration of the NeQuick 2 model decreased on storm day (8 Sept.) compared to other days. The high deviation of this station in the equatorial region may be related to the anomalies occurring in this region which are still not fully understood. The station where the NeQuick 2 model underestimates the VTEC values is again the NKLK station. The maximum deviation was achieved at this station with 12.61 TECU on the day of the storm. On the other hand, the maximum deviation values at the same station are very small. Changes in both maximum and minimum deviation on the day of the storm lead us to the conclusion that the NeQuick 2 can detect ionospheric changes during the storm. When a change similar to NKLK for the other station was examined, it was observed that there was a similar behavior only at the STUM station. So, on 8 Sept. the Max values at the STUM station increase while min. values decrease. Moreover, the prediction performance of the model decreases as min value moves away from zero. It can be said that the model makes the best predictions for all days at the NYAL station. It is seen that NeQuick 2 model made the worst estimations again at the NKLK station. However, at the NKLK and STUM stations, the similar changes observed in the max and min differences were also observed in the RMSE values. It is seen that the RMSE values are decreased in both NKLK and STUM stations on storm day compared to other days, that is, the predictive performance of the model has increased on the storm day. The greatest deviation between the difference values was observed at the NKLK station for all days. However, in the same station, the overestimation of the NeQuick 2 model decreased on storm day (8 Sept.) compared to other days. The high deviation at this station located in the equatorial region may be related to the equatorial anomalies occurring in this region, which are still not fully understood. The station where the NeQuick 2 model underestimates the TEC values is again the NKLK station. The maximum deviation was achieved at this station with 12.61 TECU on the day of the storm. On the other hand, the maximum deviation values at the same station are very small.

Moreover, since the predictive performance of the model decreases as this value moves away from zero, according to the RMSE values, it can be said that the model makes the best predictions on all days of NYAL station. It is seen that this model made the worst estimates again at the NKLK station. However, at the NKLK and STUM stations, the changes observed in the max and min differences were also observed in the RMSE values. It is seen that the RMSE values are decreased in both NKLK and STUM stations on storm day compared to other days, that is, the predictive performance of the model has increased.

CONCLUSIONS

In this study, TEC values calculated by NeQuick model and measured by GPS for 5 different stations and 5 different latitude regions were studied for days of the pre- and post-severe storm time of 07-08 / 09/2017. The results obtained are listed below.

- The Performance of the NeQuick 2 model in the northern hemisphere is low. The reason for this may be that it is not found in the NeQ-TEC model the “camel hump” behavior at noon in the northern hemisphere TEC values.
 - The performance of the NeQuick 2 model decreases as you move from the equator to the poles.
 - The NeQuick model only models the “camel hump” behavior that occurs at noon in the equator. However, this behavior should be in the northern hemisphere.
 - It can be said that the NeQuick 2 model is very successful in calculating the minimum value of TEC during the day except for the southern hemisphere upper latitudes.
 - The NeQuick model generally exaggerated its maximum TEC values at noon. This exaggeration is approximately the effect of the main phase of the geomagnetic storm for the SUTM station.
- In addition, the NeQuick 2 model is a very important model for space weather where few measurements can be made. The ways to reduce the difference between NeQ-TEC and GPS-TEC values can be found by monitoring past geomagnetic storm processes with the help of machine learning and artificial intelligence programs.

REFERENCES


- [1] Nava B., Coisson P., Radicella S. A new version of the NeQuick ionosphere electron density model, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 70(15) 1856-1862, 2008.
- [2] Li S., Xu J, Zhou H., Zhang J., Xu Z., Xie M. Global TEC prediction performance assessment of IRI-2016 model based on EOF decomposition, *Annals Geophysicae Discussions*. 1-17, 2019.
- [3] Bilitza D. International reference ionosphere 2000. *Radio Science*, 36(2) 261-275, 2001.
- [4] Di Giovanni G., Radicella S. An analytical model of the electron density profile in the ionosphere, *Advances in Space Research*. 10(1)1 27-30, 1990.

- [5] Radicella S.M., Zhang M.L. The improved DGR analytical model of electron density height profile and total electron content in the ionosphere, *Annals of Geophysics*. 38 35-41, 1995.
- [6] Leitinger R., Zhang M.L, Radicella S.M. An improved bottomside for the ionospheric electron density model NeQuick, *Annals of Geophysics*. 48(3) 525-534, 2005.
- [7] Coisson P., Radicella S., Leitinger R., Nava B. Topside electron density in IRI and NeQuick: Features and limitations, *Advances in Space Research*. 37(5) 937-942, 2006.
- [8] Radicella S.M. The NeQuick model genesis, uses and evolution, *Annals of Geophysics*. 52(3-4) 417-422, 2009.
- [9] Bilitza D., Reinisch B.W. International reference ionosphere 2007: Improvements and new parameters, *Advances in Space Research*. 42(4) 599-609, 2008.
- [10] Okoh D., Eze A., Adedjoja O., Okere B., Okeke P. A comparison of IRI-TEC predictions with GPS-TEC measurements over Nsukka, Nigeria, *Space Weather*. 10(10) S10002, 2012.
- [11] Coisson P., Nava B., Radicella S., Oladipo O.A., Adeniyi J.O., Krishna S.G., Rama P.V.S., Ravindran S. NeQuick bottomside analysis at low latitudes, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 70(15) 1911-1918, 2008.
- [12] Okoh D., Onwuneme S., Seemala G., Jin S., Rabi B., Nava B., Uwamahoro J. Assessment of the NeQuick-2 and IRI-Plas 2017 models using global and long-term GNSS measurements, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 170 1-10, 2018.
- [13] Ezquer R.G., Scidá L.A., Orué Y.M., Nava B., Cabrera M.A., Brunini C. NeQuick 2 and IRI Plas VTEC predictions for low latitude and South American sector, *Advances in Space Research*. 61(7) 1803-1818, 2018.
- [14] Leong S., Musa T., Omar K., Subari M., Pathy N., Asillam M. Assessment of ionosphere models at Banting: Performance of IRI-2007, IRI-2012 and NeQuick 2 models during the ascending phase of Solar Cycle 24, *Advances in Space Research*. 55(8) 1928-1940, 2015.
- [15] Atıcı R., Sağır S. Global investigation of the ionospheric irregularities during the severe geomagnetic storm on September 7–8, 2017, *Geodesy and Geodynamics*. Available online 28 June 2019.
- [16] Arikan F., Nayir H., Sezen U., Arikan O. Estimation of single station interfrequency receiver bias using GPS-TEC, *Radio Science*. 43(4) RS4004, 2008.
- [17] Nayir H., Arikan F., Arikan O., Erol C. Total electron content estimation with Reg-Est, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 112 A11, 2007.
- [18] Sezen U., Arikan F., Arikan O., Ugurlu O., Sadeghimorad A. Online, automatic, near-real time estimation of GPS-TEC: IONOLAB-TEC, *Space Weather*. 11(5) 297-305, 2013.

Obezitenin Tedavisinde Geçmiş ve Güncel Bariatrik Cerrahi Uygulamaları

Şeyda GÜNGÖR¹

¹Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye

✉: s.gungor@alparslan.edu.tr  0000-0003-0333-8966

Received (Geliş): 16.10.2019

Revision (Düzelme):05.12.2019

Accepted (Kabul): 10.12.2019

ÖZ

Obezite; çağımızın görülme sıklığı hızla artmakta olan kronik ve kompleks bir hastalıktır. Obezitenin kanser, metabolik sendrom, tip 2 diyabet gibi bazı hastalıkların yanında kardiyovasküler, renal ve muskuloskeletal sistem bozukluklarının, psikolojik rahatsızlıkların ve diğer birçok işlevsel bozukluğun artışında etkisinin olduğu günümüz literatüründe kabul edilmiştir. Obezitenin tedavisinde düzenli fiziksel aktivite eşliğinde sağlıklı diyet uygulamalarının veya medikal tedavilerin sonuç vermediği durumlarda; donanımlı merkezlerde deneyimli ekipler tarafından bariatrik cerrahi uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Sürecin başarılı geçmesi hastaya en uygun bariatrik cerrahi uygulamasına karar verilmesi ve süreç boyunca sürekli beslenme ve metabolik takip ile mümkündür. Her bir uygulamanın ise avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Bu derlemede bariatrik cerrahinin eski ve yeni uygulamaları hakkındaki genel bilgiler bir araya getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bariatrik cerrahi, Morbid obezite, Tedavi Yöntemleri

Past and Current Methods of Bariatric Surgery in the Treatment of Obesity

ABSTRACT

Obesity is a chronic and complex disease which is increasing rapidly in recent years. It has been accepted in the current literature that obesity has an effect on the increase of cardiovascular, renal, musculoskeletal system and psychological disorders and many other functional disorders besides some diseases such as cancer, metabolic syndrome, type 2 diabetes. In cases of regular physical activity with healthy diets or pharmacological treatment are not effective in the treatment of obesity, bariatric surgery is performed by experienced teams in well-equipped centers. The success of the process is possible by deciding the most appropriate bariatric surgery for the patient and the nutritional and metabolic monitoring throughout the process. Each application has advantages and disadvantages. In this review, general information about past and current methods of bariatric surgery were collected.

Keywords: Bariatric surgery, Morbid obesity, Treatment methods

GİRİŞ

Obezite çağımızın prevalansı gittikçe artmakta olan kronik ve oldukça kompleks bir hastalıktır [1]. Zamanla birçok komorbiditenin eşlik ettiği obezite tedavisinde fiziksel aktivite, diyet ve medikal tedavinin sonuç vermediği durumlarda bariatrik cerrahi tedavisi başarılı sonuçlar verebilmektedir [2]. İlk ortaya çıktığı günden bu güne kadar kullanılan, değişen veya geliştirilen tüm bariatrik cerrahi uygulamaları kendi içerisinde avantaj ve dezavantajlar barındırmaktadır.

Obezite Tanımı Ve Tanı Kriterleri

Obezite; vücutta anormal ve aşırı yağ birikimi olarak tanımlanır ve temelde kalori alımı ile yakımı arasındaki dengesizlikten kaynaklanır [1]. Yetişkinlerde obeziteyi sınıflandırabilmek ve vücut metrekaresi başına düşen ağırlığı ifade etmek için Beden Kitle İndeksi (BKI/ BMI- Body Mass Index) kullanılmaktadır. Bu değer kilogram cinsinden vücut

ağırlığının, metre cinsinden boy uzunluğunun karesine bölünmesiyle elde edilir [2]. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) verilerine göre obezite sınıflandırması Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. BKİ'ye Göre Obezite Sınıflandırması [2].

Sınıflandırma	BKİ (kg/m ²)
Şiddetli Zayıf	< 16.00
Orta Zayıf	16.00-16.99
Hafif Zayıf	17.00-18.49
Zayıf (Underweight)	< 18.50
Normal (Normal Range)	18.50-24.99
Kilolu (Overweight)	≥25.00
Pre-Obez	25.00-29.99
Obez (Obese)	≥30.00
1. Sınıf Obez	30.00-34.99
2. Sınıf Obez	35.00-39.99
3. Sınıf Obez (Morbid)	≥40.00

BKİ yaş ve cinsiyetten bağımsız olduğu ve vücut yağ dağılımı hakkında bilgi vermediği için obezite tanısı koymada ve obezitenin tipini belirlemede;

bel çevresi, kalça çevresi, bel/kalça oranı, deri kıvrım kalınlıkları, üst orta kol çevresi gibi antropometrik ölçümlere ihtiyaç duyulabilmektedir [3-5]. Sağlıklı yetişkin bir erkeğin vücut yağ yüzdesinin %8-15, kadının %15-22 aralığında olması beklenir [4]. Bel çevresinin kadınlarda 80 cm'nin, erkeklerde 94 cm'nin üzerinde olması risk durumu; kadınlarda 88 cm'nin, erkeklerde 102 cm'nin üzerinde olması yüksek risk durumu olarak değerlendirilir [6].

DSÖ; 2016 yılında dünya genelinde 18 yaş üstü bireylerin %39'unun fazla kilolu; erkeklerin %11'inin, kadınların ise %15'inin obez olduğunu bildirmiştir. Bu verilere göre 2016 yılında dünya çapında 2 milyardan fazla yetişkin fazla kilolu, yarım milyardan fazla yetişkin obez olduğu bilinmektedir [8]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2017 verilerine göre ise; 2016 yılında Türkiye'de 15 yaş ve üzeri obez bireylerin oranı %19.6'dır [7].

Obezite nedenleri çevresel ve genetik faktörler olarak ikiye ayrılabilir. Sosyoekonomik-sosyokültürel düzey düşüklüğü, aile yaşantısı, cinsiyet, yaş, sigara kullanımı, endokrin bozukluklar, ilaçlar ve en önemlisi hareketsiz yaşamın benimsenmesi ve sağlıklı beslenme obezitenin başlıca çevresel sebepleri arasında gösterilebilir [5, 9]. Bunun yanı sıra kalıtımın da obezite üzerinde %30-70 aralığında bir etkisinin olduğu tahmin edilmektedir [4, 10]. Nitekim evlat edinilen çocuklar üzerinde yapılan bir çalışmada [11] çocukların vücut kompozisyonlarının biyolojik anne babalarıyla daha benzer olduğu belirtilmiştir. Fakat gen defektleri ve kalıtımın bu olumsuz etkisinden, düzenli fiziksel aktivite ve sağlıklı beslenme yoluyla kaçınmak mümkündür [12].

Obezitenin birçok kardiyovasküler rahatsızlığı, kas iskelet sistemi rahatsızlıklarını, renal bozuklukları, tip 2 diyabet, metabolik sendrom gibi hastalıkları ve psikososyal durum bozukluklarını beraberinde getirme riskinin yüksek olduğu bilinmektedir [13-17]

Obezitenin Tedavisi

Obezitenin tedavisi diyet-fiziksel aktivite, medikal tedavi ve cerrahi tedavi olmak üzere birkaç aşamaya ayrılabilir. Fiziksel aktivite eşliğinde diyet tedavisinin veya medikal tedavinin sonuç vermediği obezite durumlarında bariatrik cerrahiye başvurulmaktadır [1, 5, 17-20].

Morbid obezite cerrahisinde klasik tedavi ile bariatrik cerrahi tedavisini karşılaştıran ilk ve en kapsamlı çalışma olan İsveç Obezite Çalışması (The Swedish Obese Subject Study/SOS) [21] sonuçlarına göre (n=4000); bariatrik cerrahi hastalarında ilk iki yıllık kilo kaybı 15-28 kg iken, klasik tedavi uygulanan hastalarda 0.5-8.9 kg'dır. Sekiz yıl sonunda bariatrik cerrahi hastalarının 16-20 kg kaybettiği, kontrol grubunun ise 0.7-12 kg kazandığı bildirilmiştir. İki yıl sonunda diyabet

insidanslarının; bariatrik cerrahi hastalarında, kontrol grubuna göre 32 kat azaldığı, sekiz yıl sonunda ise bu oranın kontrol grubuna göre hala 5 kat az olduğu ifade edilmiştir. Benzer şekilde iki yıl sonunda bariatrik cerrahi grubunun hipertansiyon insidansının kontrol grubundan 2.6 kat az olduğu; sekiz yılın sonunda iki grubun insidans oranının neredeyse eşitlendiği saptanmıştır. Bu çalışmada bariatrik cerrahinin morbid obezlerde mortaliteyi azalttığı bildirilmiştir. Aynı karşılaştırmanın yapıldığı başka bir çalışmaya [22] göre bariatrik cerrahi geçiren hastalar kontrol grubuna göre ortalama 26 kg daha fazla ağırlık kaybetmektedirler. Buna ek olarak bariatrik cerrahi grubunun diyabet remisyon oranının daha fazla olduğu, yaşam kalitesinde diğer gruba göre artış sağlandığı ve ilaç kullanımında diğer gruba göre azalma gerçekleştiği bildirilmiştir. Obezite cerrahisinin güvenilirliğini konu alan bir derlemede; bariatrik cerrahinin 46 kg üzerinde vücut ağırlığı kaybı olduğu, diyabet remisyon oranının %80 ve diğer komorbiditelerin remisyon oranlarının da kayda değer olduğu bildirilmiştir [23].

Bariatrik cerrahinin mikrobiyota üzerine etkilerinin araştırıldığı bir derlemede; cerrahi sonrası bağırsaklarda kısa zincirli yağ asidi emilimine ve üretimine yardımcı olan *Firmicutes* bakterilerinde azalma olduğu ve birçok patojen bakterileri kapsayan *Proteobacteria* filumunda belirgin artış olduğu belirtilmiştir [24]. Bir başka çalışma Laparoskopik Sleeve Gastrektomi uygulanan 72 hastanın 2'sinde periferik nöropati geliştiğini ve bunun önlenmesi için postoperatif dönemde serum parametrelerinin yakından takip edilmesi gerektiğini vurgulamıştır [25].

Obezitenin Cerrahi Tedavisi

Bariatri kelimesi Yunanca'da kiloyu ifade eden '-bar' kelimesi ve tedaviyi ifade eden '-iatria' kelimelerinin birleşmesiyle oluşmuş ve dilimize geçmiştir [70]. Bariatrik cerrahi ilk olarak 1950'lerde Dr. Richard Varco tarafından uygulanmıştır. Muhtemelen kilo kaybı amaçlanarak Jejunoileal Bypass (JIB) şeklinde uygulanan bu işlemin 1954'te Kremen ve Linner tarafından rapor olarak yayımlandığı belirtilmektedir [26, 27]. Son 15-20 yılda laparoskopi ve endoskopi gibi tekniklerin geliştirilmesi ile ameliyatlara daha da çeşitlenmiştir [28, 29].

Bariatrik cerrahi yöntemleri; besin öğelerinin emilimini engelleyici malabsorbtif yöntemler ve besin alımını kısıtlayıcı restriktif yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Ayrıca hem emilimi engelleyen hem de besin alımını kısıtlayan kombine yöntemler de vardır [18, 19, 30]. Restriktif yöntemler; İntragastrik Balon, Gastrik Pacing, Vertikal Band Gastroplastisi (VBG), Laparoskopik Ayarlanabilir Gastrik Band (LAGB), Laparoskopik Sleeve Gastrektomi'dir (LSG) (Tüp Mide). Malabsorbtif

yöntemler; Biliopankreatik Diversiyon (BPD), Jejunioleal Bypass (JIB) iken kombine yöntemler; Biliopankreatik Diversiyon-Duedonal Switch (BPD-DS), Roux en Y Gastrik Bypass (RYGB) ve Mini Gastrik Bypass'dır (MGB) [19, 30-33].

Bariatrik cerrahi için hasta seçiminde genel olarak National Institutes of Health'in (NIH) 1991 prensipleri [34] esas kabul edilmekte ve bu temel üzerinden güncellenmektedir.

Bariatrik cerrahi endikasyonları;

- BKİ > 40 kg/m² olması ya da BKİ > 35 kg/m² beraberinde; tip 2 diyabet, hipertansiyon, uyku apnesi, hiperlipidemi, reflü gibi komorbidite hastalıklarının bulunması,
- Cerrahi tedavilerden önce uygulanan medikal tedavilerde başarısız olunması,
- Psikolojik durumun stabil olması,
- Aile ve çevre desteğinin yerinde olması,
- Alkol ve madde bağımlılığının olmaması,
- Hastanın yapılacak uygulama hakkında tam bilgi sahibi olması;

şeklinde sıralanabilir [33].

Bariatrik cerrahinin kontrendikasyonları ise;

- 18 yaşından küçük 65 yaşından büyük olmak,
- Anestezi veya ameliyatı engelleyen ciddi bir rahatsızlık varlığı,
- Tedavi edilemeyen endokrinolojik hastalık varlığı (Cushing sendromu, Hipotiroidizm vb.),
- Normal olmayan kan basıncı durumu veya ciddi kardiyovasküler rahatsızlık varlığı,
- Kontrol dışı *bulimia nevrosa* veya diğer yeme bozukluklarının varlığı,
- Gebelik,
- Hastaların prosedürü anlamasını engelleyecek derecede zihinsel yetersizlik,
- Hastanın ameliyat sonrasında yaşam biçimini değiştirmedeki isteksizliği,
- Psikolojik dengesizlik,
- Hastanın ameliyatı 'sihirli değnek' gibi görmesi,
- Hastayı desteklemeyen ev halkı veya aile,
- Uyumsuz davranışlar;

şeklinde sıralanabilir [76, 77]. Bunların yanı sıra başka bir kaynaktan obezite cerrahisinin 18 yaş altı ve 60 yaş üstü hastalarda, cerrah inisiyatifiyle donanımlı merkezlerde kontrollü şekilde gerçekleştirilebileceği bildirilmiştir [75].

Restriktif Yöntemler

İntragastrik Balon

İntragastrik balon ilk olarak 1980'lerde tanıtılmış, kullanılan kateterlerin keskin köşeler barındırması, zor yerleştirilmesi ve hastaları rahatsız etmesi dezavantajları nedeniyle başarısız olmuştur. Ardından gelişen teknoloji ile değişen materyallerle, geliştirilen laparoskopik ve endoskopik yerleştirme teknikleriyle zorluklar büyük oranda aşılmıştır [27]. Yöntem, erken doymayı indüklemek ve fazla besin alımını

engellemek amacıyla radyopak silikon elastik bir balonun doğrudan görüş altında endoskopik veya laparoskopik tekniklerle mideye yerleştirilmesi ve metilen mavisi ile renklendirilmiş izotonik NaCl ile şişirilmesi şeklinde uygulanır. Tam dolu mide hissinin oluşması, oreksijenik hormon salınımında azalma ve iştah baskılanması ile sonuçlanır. Bu durumun besin alımını azaltması beklenir. Görülen en büyük komplikasyon balonun yırtılmasına bağlı gastrointestinal obstrüksiyon ve ölümdür [35]. Diğer yöntemlere göre en az invaziv olan yöntemdir. Tek başına tercih edilen bir uygulama olmakla birlikte; genellikle diğer cerrahi yöntemlerin kullanılacağı hastalarda aşırı kilodan kaynaklanan komplikasyonların önüne geçmek için, yardımcı bir ön yöntem olarak tercih edilir. En fazla 6 aylık süre sonrasında balon yine endoskopi yardımı ile kontrollü bir şekilde çıkartılır [14, 36].

Gastrik Pacing (Gastrik Stimülasyon)

Bu yöntemde mideye eksenli boyunca (veya midenin bir kısmına) elektrot takımları implante edilir ve yapay elektriksel dalgalar gönderilir. Mideye gönderilen düzenli elektriksel dalgaların oluşturduğu kasılmalarla gastrik motor fonksiyon bozukluğu yaratılarak tokluk hissinin oluşturulması ve gıda alımının azaltılması hedeflenir [37]. Gastrik pacing alanındaki ilk insan deneyleri 1990'larda başlamıştır. Cigaina (2002) gastrik pacing uygulamasındaki ilk insan deneylerini 1998 ve 2000 yıllarında 10 hastadan oluşan gruplara uygulamış, hastaların daha az yiyeceklerle doyduklarını bildirdiklerini, implante edilebilir gastrik pacing uygulamasının güvenli bir prosedür olduğunu, morbid obez bireylerde yeme alışkanlıklarını düzelttiğini bildirmiştir [38]. Onbir morbid obez hasta üzerinde yapılan bir başka çalışmada (2003) ise, hastaların serum leptin, somatostatin, glukagon benzeri peptin-1 (GLP-1) ve kolesistokinin seviyelerinin gastrik pacing uygulamasından önceki düzeylere göre anlamlı şekilde azaldığı bildirilmiştir. Yazarlar bu çalışmalarında GLP-1 seviyelerindeki azalmanın beklenmediğini, leptin seviyelerindeki azalmanın ise muhtemelen azalmış yağ doku kütlelerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir [39]. Gastrik pacing uygulamasının kısa dönemde kilo kaybı sağlanmak istenen hastalara önerildiği görülmektedir. LAGB veya VBG gibi diğer kısıtlayıcı yöntemlere kıyasla; reflüye yol açmaması bir avantajdır. Ayrıca diğer uygulamalara göre daha az komplikasyon ve risk barındırır. Fakat bu uygulamanın mekanizması hakkında çok az şey bilinmektedir. Bu uygulamanın uzun dönem sonuçlarını görebilmek, etki mekanizmasını anlayabilmek adına daha çok çalışmaya ihtiyaç vardır [39-42].

Vertikal Band Gastroplastisi (VBG)

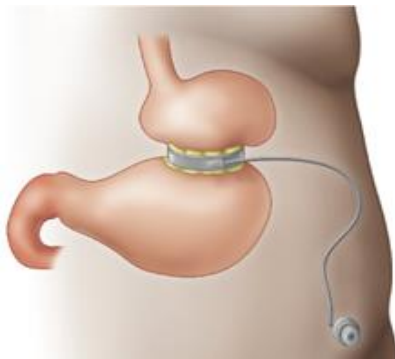
Bu yöntemin ilk sonuçları Mason tarafından 1982 yılında yayınlanmıştır [71]. Bu cerrahi tedavide;

gastrik fundustan başlanarak dikey bir şekilde stapler hattıyla, 30 ml'den daha az bir hacimde mide poşu oluşturulur. Yöntemde gastroözefageal bileşkenin 5 cm distalinden ve küçük kurvatür yanından mide duvarı ön ve arkadan delinir. Ardından stapler hattının sonundan yuvarlak açıklık oluşturularak suture edilir. Son olarak bandın çıkışına küçük kurvatürdeki geçişi çevreleyen 1.5 cm genişliğindeki poliprolen mesh (yama) konularak suture edilir [43]. Bu işlem; ağzın genişlemesini engellemek için yapılır [36]. Mason bu operasyonda, poş dilatasyonunu engellemek adına stapler hat başlangıcının gastrik fundusta olması gerektiğini vurgulamıştır. Bu uygulamada anastomoz kaçığı riski azdır ve herhangi bir bypass işlemi içermez. VBG günümüzde artık sık kullanılan bir yöntem değildir [36- 44].

Laparoskopik Ayarlanabilir Gastrik Band (LAGB)

Gastrik band ilk olarak 1980'lerde tanıtılmaya başlanırken, 1986 yılında Kuzmak [72] deri altı bir porta bağlı sıvı giriş çıkışı ile ayarlanabilen silastik gastrik bandı tanıtmıştır ve 20. yüzyıl'ın sonlarına doğru laparoskopik ayarlanabilir gastrik band geliştirilmiştir [27]. Bu yöntemde silikon bir band gastroözefageal bileşkenin 2-3 cm altına yerleştirilerek 15-30 ml'lik bir mide poşu oluşturulmaktadır [31, 49]. Poşun alt kısmı ile altta kalan midenin üst kısmı suture edilir. Bandın devamı cilt altına yerleştirilir ve uygun görüldüğünde steril serum fizyolojik enjektisiyle bant sıkılıp gevşetilebilir [46]. Erken tokluk hissi yaratılarak besin alımı kısıtlanmaktadır [47]. LAGB; mide ve bağırsak rezeksiyonu gerektirmeyen, diğer uygulamalara kıyasla daha kolay uygulanan bir yöntemdir. Ayrıca malnütrisyon riski düşüktür. Tüm bunlara karşın bant kayması, bant açılması, bant perforasyonu veya penetrasyonu, gastroözefageal reflü, port enfeksiyonu, poş dilatasyonu, obstrüksiyon gibi komplikasyonlar taşımaktadır. Ayrıca ilk kilo kaybı diğer operasyonlara göre daha yavaştır [48, 49]. LAGB uygulamasının şematik bir gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1. LAGB Uygulamasının Şematik Bir Gösterimi [76].



LAGB uygulanan 94 hastanın sonuçlarının incelendiği bir çalışmada [45] 4 hastanın bandında (bir hastada 3. ayda, iki hastada 6. ayda ve bir hastada 12. ayda) açılma olduğu ve bandı açılan hastaların kilo kaybının durup kilo alımının tekrar başladığı bildirilmiştir.

Türkiye Endokrinoloji ve Metabolizma Derneği'nin (TEMD) 2018 Bariyatrik Cerrahi Kılavuzu'na göre LAGB uygulamasından sonra fazla kilo kayıp oranı %43-45, tip 2 diyabet remisyon oranı ise %48-59 aralığında; aynı derneğin 2019 yılı kılavuzuna göre ise bu oranlar sırayla %43-45 ve %48-59 olarak verilmiştir [31, 62]. Banlı ve arkadaşlarının (2009) LAGB üzerine yaptıkları çalışmada (n=100); hastaların 6. 12. 18. ayda fazla kilo kayıp oranının sırasıyla %25.8, %46.3, %66 olduğu bildirilmiştir [50].

Laparoskopik Sleeve Gastrektomi (LSG)

Daha önceleri BPD-DS ameliyatının ilk aşaması olarak kullanılan fakat günümüzde tek başına kullanılmaya başlanmış bu yöntemde mide antrumundan başlanıp proksimal his açısında sona eren stapler hattı ile midenin yaklaşık %80-85'i rezeke edilir [25, 47, 51]. Mide hacmi ortalama 100 ml'ye indirilir [46]. Geride gastrik fundus bırakılmaması ve mide antrumunun geniş bırakılmaması gerekir. Midenin yeni görünümüne tüp şekli verildiği için tüp mide ameliyatı olarak da isimlendirilmektedir [36]. Ciddi kilo kaybı, pilor sfinkterin bütünlüğünün bozulmaması, ameliyat tekniğinin cerrah açısından kolay olması ve besin emilimini etkilememesi LSG'nin avantajlı yönleridir [25, 47]. Pilon sfinkteri zarar görmediği için dumping sendromu oluşmaz. Bunun yanı sıra oreksijenik bir hormon olan açlık hormonu olarak da bilinen ghrelin, gastrik fundustan bir miktar salgılandığı için ameliyat sonrasında ghrelin düzeyleri, dolayısıyla iştah ve besin alımı azalmaktadır [48, 55]. Buğza ve arkadaşlarının [52] LSG uygulanan hastaların ameliyat sonrası serum leptin ve ghrelin düzeylerini araştırdıkları çalışmada (n=37) postoperatif dönemde açlık kan glikozunun, leptin ve ghrelin düzeylerinin anlamlı şekilde azaldığı, buna karşın adiponektin düzeyinin ise arttığı bildirilmiştir. LAGB ve LSG sonrası plazma ghrelin seviyelerinin karşılaştırıldığı (n=20) bir çalışmada ise [53] postoperatif 6 aylık süreçte LSG hastalarının plazma ghrelin düzeylerinin düşük ve stabil bulunduğu, LAGB hastalarının ise postoperatif 1. günde plazma ghrelin düzeylerinde preoperatif düzeylere göre değişiklik görülmezken 6 aylık süreçte arttığı saptanmıştır. Doğan ve arkadaşlarının [54] 36 hasta üzerinde gerçekleştirdiği bir çalışmada LSG'nin Helicobacter Pylori enfeksiyonunun tedavisinde efektif sonuçlar yarattığı bildirilmiştir. Ameliyat sonrası dönemde mide tüpünün genişlemesi karşılaşılan bir durum olduğundan yeniden LSG veya LSG sonrası gastrik bypass ya da BPD-DS

ve bağırsak bypass edildiği için hem restriktif hem de malabsorbtif bir yöntemdir. Hormonal denge ve metabolizma üzerinde de çeşitli etkileri mevcuttur. Emilim eksikliklerine neden olduğundan dolayı postoperatif dönemde nütrisyonel durumunun iyi bir şekilde gözlenmesi gerekir [27]. Uzun dönemde kilo kaybını ve komorbidite insidans oranını en iyi düşüren uygulama olmasına rağmen karmaşık bir ameliyat olması ve ameliyat komplikasyon risk oranının yüksek olması nedeniyle deneyimli merkezlerde gerçekleştirilmesi önerilir [55]. Hess ve Hess'in (1998) BPD-DS geçirmiş 440 morbid obez hasta üzerinde yaptıkları bir çalışmada postoperatif 24. ayda fazla kilo kayıp oranının %80 olduğu; bu oranın postoperatif 8. yıla kadar %70 civarında seyrettiği ve cerrahi tedavinin komorbidite hastalıklar üzerine olumlu etkilerinin olduğu bildirilmiştir [60].

Mini Gastrik Bypass (MGB)

İlk versiyonunu 1966 yılında Mason ve İto, Loop Gastrik Bypass adıyla uygulamışlardır [17]. Ancak safra gastriti ve özofajit ile biliyer yetersizliği nedeniyle kullanımı bırakılmıştır [23]. Ardından 1997 yılında MGB şeklini almış ve Rutledge 2001 yılında uygulamanın teknik ayrıntılarını ve ilk raporu yayınlamıştır [64]. Yöntemde küçük kurvatüre paralel bir stapler hattı his açısına kadar getirilerek küçük bir mide hacmi bırakılmaktadır. Gastrik tüpün distal ucu ince bağırsakla birleştirilir. Geride kalan mide bölümü sütüre edilerek devre dışı bırakılmış olur [64]. MGB uygulaması dünya genelinde çok az sıklıkta (%1.5) kullanıldığı bildirilmiştir [46].

Roux en Y Gastrik Bypass (RYGB)

Gastrik Bypass (GB) 1970'lerin sonunda tanınmaya başlanmış, RYGB yöntemi ise 2000'li yılların başında Loop Gastrik Bypass yönteminden evrilmiştir. Teknik olarak bypass edilmiş 30 ml'lik mide poşu'nun, 100-150 cm'lik roux kanalına bağlanması prensibine dayanır [61]. RYGB uygulamasının şematik bir gösterimi Şekil 4'te gösterilmiştir.

Midenin çok büyük bir kısmı ve bağırsağın bir bölümü bypass edildiği için etkinlik oranı yüksek bir yöntemdir. Fakat bu uygulamanın sonrasında mikro ve makro besin ögesi yetersizlikleri uzun dönemde görülebilecek komplikasyonlar olarak karşımıza çıkmaktadır [26, 46]. RYGB uygulamasında postoperatif fazla kilo kaybı ilk yıl %60-70 [51], sonraki 5 yıl içinde ise %60 civarında seyretmektedir [46, 62].

RYGB uygulanan 114 hastanın postoperatif dönem sonuçları üzerinde yapılan bir çalışmada; fazla kilo kayıp oranının postoperatif 3. ayda %47.68 ve postoperatif 12. ayda %85.04 iken 24. ayda %83.5 olduğu ve hipertansiyon, hiperlipidemi, uyku

apnesi, tip 2 diyabet gibi hastalıkların anlamlı olarak düzeldiği bildirilmiştir [64].

Şekil 4. RYGB Uygulamasının Şematik Bir Gösterimi [27].



Diğer yandan RYGB ile MGB uygulamalarının karşılaştırıldığı 1657 gastrik bypasslı hastayı kapsayan 10 yıllık bir çalışmada RYGB'nin operasyon süresinin ve komplikasyon riskini daha yüksek olduğu bunun yanında MGB'nin postoperatif 5 yılda fazla kilo kayıp oranının RYGB'den daha fazla olduğu bildirilmiştir [65]. Günümüzde bariatrik cerrahinin başarısı fazla kilo kayıp oranının %50'den fazla olup olmamasıyla belirlenmektedir [62]. Postoperatif dönemde eğer hastaların fazla kilo kayıp oranı %40 ve altındaysa uygulama başarısız, %40-60 aralığında ise orta düzeyde başarılı ve %60 ve üzerinde ise iyi düzeyde başarılı olarak kabul görülür [19, 66, 67]. TEMD 2019 Obezite Tanı ve Tedavi Kılavuzu'na göre en çok kullanılan ve artık standart olarak kabul edilmiş yöntemler; LSG, LAGB, BPD-DS ve RYGB'dir ve bariatrik cerrahiye bağlı mortalite oranı yaklaşık %1'dir [55]. Fakat LAGB kullanımının son zamanlarda belirgin şekilde azaldığı bildirilmiştir [68]. Postoperatif dönemde yapılan beslenme ve metabolik kontrollerin periyotları uygulamadan uygulamaya farklılık göstermesine rağmen ilk 1-3 yıl içerisinde intestinal adaptasyonun sağlanması beklenir [69]. Bazı standart uygulamaların kontrol süreleri Tablo 2'de yer almaktadır.

SONUÇ

Bariatrik cerrahi uygulamaları; morbid obezite tedavisinde diyet ve farmakolojik tedaviye göre başarı şansı oldukça yüksek olan; perioperatif süreçte cerrah, diyetisyen, hemşire, fizyoterapist, psikolog gibi birçok uzman tarafından gerçekleştirilen multidisipliner bir ekip çalışmasıdır. Geçmiş 1950'lere dayanan ve ilk olarak Jejunioleal Bypass (JIB) olarak uygulanan bariatrik cerrahi uygulamaları günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte güncellenmekte, değiştirilmekte ve çeşitlendirilmektedir. Örneğin JIB uygulaması zamanla geliştirilerek

Biliopankreatik Diversiyon (BPD) şeklini almış, o da zamanla bazı teknik değişiklikler yapılarak Biliopankreatik Diversiyon-Duedonal Switch (BPD-DS) şeklinde uygulanmaya başlanmıştır. BPD-DS günümüzde sık tercih edilen başarı oranı yüksek bir uygulamadır. Fakat JIB uygulaması yüksek mortalite riski barındırdığı anlaşıldığından dolayı günümüzde artık tercih edilmemektedir. Günümüzde kullanımı tercih edilmeyen bir diğer uygulama da Vertikal Band Gatroplasti'dir (VBG). Diğer uygulamalara göre ortaya çıkışı çok da eskiye dayanmayan Gastrik Pacing uygulaması kısa dönemde kilo kaybı sağlanmak istenilen hastalarda uygulanmaktadır fakat uzun dönem sonuçlarını görebilmek adına daha çok çalışmaya ihtiyaç duymaktadır. İntragastrik balon uygulaması gelişen teknolojiyle uygulama kolaylığı ve popülerlik kazanmış günümüzde kısa dönemde kilo kaybı sağlanmak istenen hastalara uygulanmaktadır. Diğer pek çok yönteme kıyasla daha az invaziv bir yöntem sayılabilecek Laparoskopik Ayarlanabilir Gastrik Band (LAGB) uygulaması günümüzde kullanım kolaylığından dolayı sık tercih edilen uygulamalar arasındadır. Roux en Y Gastrik Bypass (RYGB) teknik olarak Loop Gastrik Bypass

uygulanmasından evrilmiş olup günümüzde başarı oranı ve kullanım sıklığı fazla olan uygulamalar arasındadır. Laparoskopik Sleeve Gastrektomi (LSG) daha önce BPD-DS uygulamasının ilk aşaması olarak uygulansa da günümüzde tek başına uygulanmakta olan başarı oranı yüksek bir uygulamadır. Mini Gastrik Bypass ise dünya genelinde çok az sıklıkta kullanılan bir yöntemdir. Her biri birçok avantaj ve dezavantaj barındıran ve bazıları artık kullanılmayan bu uygulamalar arasından hastaya uygun olanı pek çok faktör göz önünde bulundurularak seçilmektedir. Tüm bu uygulamalara gün geçtikçe revize edilmekte kullanımı bırakılanların yerine yenileri eklenmekte ve daha az risk barındıran hasta ve cerrah açısından kolay olan uygulamalar geliştirilmeye çalışılmaktadır. Sürecin başarılı bir şekilde gerçekleşmesi için hastaya uygun yöntemin tercih edilmesi, ekip tarafından süreç boyunca hastanın kapsamlı bir şekilde takip edilmesi, cerrahi tedavi sonrası eğitimlerinin yapılması, diyetisyenler tarafından hastaların beslenme programlarının, hasta gereksinimleri gözetilerek düzenlenmesi, gerektiğinde güncellenmesi ve hastanın çok iyi bir şekilde izlenmesi son derece önemlidir.

Tablo 2. Bazı Standart Uygulamalarının Postoperatif Dönem Kontrol Periyotları [69].

İŞLEM	Komorbidite	İlk 6 ay*	İkinci 6 ay	İkinci yıl	2 yıl ve sonrası
LAGB	Yok	Her ay 1 kez	1 kez	Yıllık	Yıllık
	Var	Her ay 1 kez	2 kez	Her 6 ayda 1 kez	Yıllık
RYGB	Yok	Her 2-3 ayda 1 kez	1 kez	Her 6 ayda 1 kez	Yıllık
	Var	Her 1-2 ayda 1 kez	Her 3-6 ayda 1 kez	Her 6 ayda 1 kez	Yıllık
BPD-DS	Yok	Her 2-3 ayda 1 kez	2 kez	Her 3-6 ayda 1 kez	Yıllık
	Var	Her 1-2 ayda 1 kez	Her 6-12 ayda 1 kez	Her 6-12 ayda 1 kez	Her 6-12 ayda 1 kez

* İlk kontrol postoperatif ilk ayda yapılmak üzere.

KAYNAKÇA

- [1] <https://www.who.int/topics/obesity/en/>, (Erişim Tarihi: 27.09.2019).
- [2] <http://www.assessmentpsychology.com/icbmi.htm>, (Erişim Tarihi: 27.09.2019)
- [3] Baş B. Obezite cerrahisi öncesi ve sonrası hastaların yaşam kalitesi, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, 2018.
- [4] Baysal A., Aksoy M., Besler T., Bozkurt N., Keçecioğlu S., Mercanlıgil S.M., vd. Diyet El Kitabı, Ankara, Hatiboğlu Yayınevi, p.654, 2013.
- [5] İlhan B.Ö. Obezite cerrahisinin benlik saygısı ve yaşam kalitesine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, 2018.
- [6] https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44583/9789241501491_eng.pdf;jsessionid=0C61B608AE0B761A86E8DCB0DDE892E4?sequence=1, (Erişim Tarihi: 27.09.2019).
- [7] <http://tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24573>, (Erişim Tarihi: 27.09.2019).
- [8] <https://www.who.int/gho/en/>, (Erişim Tarihi: 27.09.2019).
- [9] Baltacı G. Obezite ve Egzersiz, Ankara, Sağlık Bakanlığı Yayınları, p.20, 2008.
- [10] Gürel S.F., İnan G. Çocukluk çağı obezitesi tanı yöntemleri, prevalansı ve etyolojisi, Adnan Menderes Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 2(3), 39-46, 2001.
- [11] Stunkard A.J., Sørensen T.I.A., Hanis C., Teasdale T.W., Chakraborty R., Schull W.J., vd. An adoption study of human obesity, New England Journal of Medicine, 314(4), 193-8, 1986.
- [12] Alphan M.E.T., Baş M., Baysal A., Kutluay T.M., Kızıltan G., Pekcan G. Hastalıklarda Beslenme Tedavisi, Ankara, Hatiboğlu Yayınevi, p.1044, 2014.
- [13] Kurniati N. Obesity and central obesity, Medical Journal of Indonesia, 27(2), 69-70, 2018.
- [14] Tam A., Çakır B. Birinci basamakta obeziteye yaklaşım, Ankara Medical Journal, 12(1), 37-41, 2012.
- [15] Branca F., Nikogosian H., Lobstein T. The Challenge of Obesity in the WHO European Region and the Strategies for Response: Summary, World Health Organization, Danimarka, p.56, 2007.
- [16] Serter R. Obezite Atlası, Ankara, Karakter Color Basımevi. p.136, 2004.
- [17] Açıkgöz A.Ö. Morbid obezite cerrahisi geçiren hastalarda zor havayolu insidansı ve eşlik eden hastalıklar, Uzmanlık Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 2014.

- [18] Dizlek D., Çatal E. Morbid obezitede bariatrik cerrahi sonrası hasta sonuçları, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(2), 501-12, 2018.
- [19] Korkmaz M.F. Bariatrik cerrahinin morbid obez bireylerde total antioksidan kapasite üzerine etkisi, Uzmanlık Tezi, Fırat Üniversitesi, 2018.
- [20] Baltacı D., Ünalacak M., Kara İ.H., Sarıgül Y.C. Birinci basamakta obezite tedavisi, Türkiye Klinikleri Family Medicine-Special Topics, 6(3), 96-102, 2015.
- [21] Torgerson J.S., Sjöström L. The swedish obese subjects (SOS) study rationale and results, International Journal of Obesity, 25(1), 2-4, 2001.
- [22] Gloy V.L., Briel M., Bhatt D.L., Kashyap S.R., Schauer P.R., Mingrone G., Bariatric surgery versus non-surgical treatment for obesity: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials, British Medical Journal, 347 1-16, 2013.
- [23] Pories W.J. Bariatric surgery: risks and rewards, The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 93(11), 89-96, 2008.
- [24] Uzdil Z., Saka M. Bariatrik cerrahi uygulamalarının mikrobiyota üzerine etkilerinin değerlendirilmesi, Gazi Sağlık Bilimleri Dergisi, 3(1), 38-44, 2018.
- [25] Erol V., Öztürkeri Ö.A., Yılmaz T.H., Emre S., Gülay H. Management of peripheric neuropathy following laparoscopic sleeve gastrectomy, Cerrahi Sanatlar Dergisi, 9(1), 35-9, 2016.
- [26] Deveci E. Obezite cerrahisi adayları olan ve olmayan obez bireylerde yeme özellikleri, beden bölgesinden hoşnutsuzluk, tedavi motivasyonu ve psikopatolojinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, 2013.
- [27] Buchwald H. Buchwald's Atlas of Metabolic and Bariatric Surgical Techniques and Procedures, *Filedelfiya*, Elsevier, p.370, 2011.
- [28] Buchwald H., Buchwald J.N. Evolution of operative procedures for the management of morbid obesity 1950-2000, Obesity Surgery, 12(5), 705-17, 2002.
- [29] O'Brien P. Bariatric surgery: mechanisms, indications and outcomes, Journal of Gastroenterology and Hepatology, 25(8), 1358-65, 2010.
- [30] Aydın E., Bulut H. Bariatrik cerrahide hemşirelik bakımı. TAF Preventive Medicine Bulletin, 13(1), 77-82, 2014.
- [31] Bariatrik Cerrahi Kılavuzu, Türkiye Endokrinoloji ve Metabolizma Derneği, Ankara, Miki Matbaacılık, p.95, 2018
- [32] Işık D. Sleeve gastrektomi uygulanacak hastalara verilen sistematik eğitimin ameliyat sonrası 3 aylık dönemdeki antropometrik değerlerine ve besin tüketimlerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, 2019.
- [33] Sağlam F., Güven H. Obezitenin cerrahi tedavisi, Okmeydanı Tıp Dergisi, 30(1), 60-5, 2014.
- [34] NIH. Gastrointestinal surgery for severe obesity, Obesity Surgery, 1 257-65, 1991.
- [35] Bor S., Turan İ., Özütmez Ö. Morbid obezite tedavisinde intragastrik balon uygulaması sırasında meydana gelen balon rüptürü vakası, Akademik Gastroenteroloji Dergisi, 6(2), 94-6, 2007.
- [36] Kılıç O. Sleeve gastrektomili hastaların uzun dönem klinik sonuçları, Uzmanlık Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 2016.
- [37] Chiu J.D., Soffer E. Gastric electrical stimulation for obesity, Current Gastroenterology Reports, 17(4), 1-6, 2015.
- [38] Cigaina V. Gastric pacing as therapy for morbid obesity: preliminary results, Obesity Surgery, 12(1), 12-6, 2002.
- [39] Cigaina V., Hirschberg A.L. Gastric pacing for morbid obesity: plasma levels of gastrointestinal peptides and leptin, Obesity Research, 11(12), 1456-62, 2003.
- [40] Miller K. Laparoscopic Gastric Pacing, Obesity, Bariatric and Metabolic Surgery, S. Agrawal (ed.), Switzerland, Springer, p.736, 2015.
- [41] Hipertansiyon, Obezite ve Lipid Metabolizması Hekim İçin Tanı ve Tedavi Rehberi. Türkiye Endokrinoloji ve Metabolizma Derneği, Ankara, Miki Matbaacılık, p.112, 2009.
- [42] Favretti F., Luca M.D., Segato G., Busetto L., Ceoloni A., Magon A., vd. Treatment of morbid obesity with the Transcend Implantable gastric stimulator: a prospective survey, Obesity surgery, 14(5), 666-670, 2004.
- [43] Fobi M.A.L., Fleming A.W. Vertical banded gastroplasty vs gastric bypass in the treatment of obesity, Journal of the National Medical Association, 78(11), 1091-1098, 1986.
- [44] Güler Y., Sakarya A. Morbid obezite ve cerrahi tedavisi, İzmir Tepecik Eğitim ve Araştırma Hastanesi Dergisi, 15(3), 139-53, 2005.
- [45] Sakçak İ., Avşar F.M., Hamamcı E.O., Bostanoğlu S., Sonışık M., Bostanoğlu A., Laparoskopik ayarlanabilir stomalı mide bandı uygulamalarında nadir bir komplikasyon: bant açılması (atnalı görünümü), Turkish Journal of Surgery, 25(4), 161-164, 2009.
- [46] Türkiye'de Obezite Tedavisinde Obezite Cerrahisinin Yeri, Sağlık Teknolojisi Değerlendirme Daire Başkanlığı (STDD) , Ankara, p.153, 2014.
- [47] Güçlü A. Bariatrik cerrahi ve perioperatif hemşirelik bakımı, Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi, 27(3), 209-11, 2018.
- [48] Suraweera D., Saab E.G., Choi G., Saab S. Bariatric surgery and liver transplantation, Gastroenterology and Hepatology, 13(3), 170-175, 2017.
- [49] Gilbert E.W., Wolfe B.M. Bariatric surgery for the management of obesity: state of the field, Plastic and Reconstructive Surgery, 130(4), 948-954, 2012.
- [50] Banlı O., Altun H., Karakoyun R., Özdoğan H., Kahveci K., Çakmak B. Obesite tedavisinde laparoskopik gastrik band yerleştirilmesi sonuçları: ilk 100 olgu, Turkish Journal of Surgery, 25(1), 11-14, 2009.
- [51] Ruban A., Stoenchev K., Ashrafian H., Teare J. Current treatments for obesity, Clinical Medicine, 19(3), 205-212, 2019.
- [52] Bužga M., Zavadilová V., Holčecy P., Švagera Z., Švorc P., Foltys A., Dietary intake and ghrelin and leptin changes after sleeve gastrectomy, Videosurgery and Other Miniinvasive Techniques, 9(4), 554-561, 2014.
- [53] Langer F.B., Hoda M.A.R., Bohdjalian A., Felberbauer F.X., Zacherl J., Wenzl E., vd. Sleeve gastrectomy and gastric banding: effects on plasma ghrelin levels, Obesity Surgery, 15(7), 1024-1029, 2005.

- [54] Doğan U., Ensari C.Ö., Çöpelci Y., Öner O.Z., Oruç M.T., Bülbüller N. Laparoskopik sleeve gastrektominin helicobacter pylori enfeksiyonuna etkisi, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası, 71(2), 166-169, 2018.
- [55] Obezite Tanı ve Tedavi Kılavuzu, Türkiye Endokrinoloji ve Metabolizma Derneği, Ankara, Miki Matbaacılık, p.112, 2019.
- [56] Brethauer S.A., Hammel J.P., Schauer P.R. Systematic review of sleeve gastrectomy as staging and primary bariatric procedure, Surgery for Obesity and Related Diseases, 5(4), 469-475, 2009.
- [57] Scopinaro N., Adami G.F., Marinari G.M., Gianetta E., Traverso E., Friedman D., vd. Biliopancreatic diversion, World Journal of Surgery, 22(9), 936-946, 1998.
- [58] Agrawal S. Obesity, Bariatric and Metabolic Surgery: A Practical Guide, Switzerland, Springer, 2015, p.736.
- [59] Singh D., Laya A.S., Clarkston W.K., Allen M.J. Jejunoileal bypass: a surgery of the past and a review of its complications, World Journal of Gastroenterology, 15(18), 2277-2279, 2009.
- [60] Hess D.S., Hess D.W. Biliopancreatic diversion with a duodenal switch, Obesity Surgery, 8(3), 267-282, 1998.
- [61] Elder K.A., Wolfe B.M. Bariatric surgery: a review of procedures and outcomes, Gastroenterology, 132(6), 2253-2271, 2007.
- [62] Bariyatrik Cerrahi Kılavuzu. Türkiye Endokrinoloji ve Metabolizma Derneği, Ankara, Miki Matbaacılık, p.95, 2019.
- [63] Görgün M., Tepel M.A., Sezer T.Ö., Bademkiran E. Laparoskopik roux-en-y gastrik bypass (lrygbp): teknik, sonuçlar ve 114 hastalık deneyim, Endoskopik Laparoskopik ve Minimal İnvaziv Cerrahi Dergisi, 17(1), 24-37, 2010.
- [64] Rutledge R. The mini-gastric bypass: experience with the first 1,274 cases. Obesity Surgery. 11(3), 276-280, 2001.
- [65] Lee W.J., Ser K.H., Lee Y.C., Tsou J.J., Chen S.C., Chen J.C. Laparoscopic roux-en-y vs. mini-gastric bypass for the treatment of morbid obesity: a 10-year experience. Obesity Surgery, 22(12), 1827-1834, 2012.
- [66] Yüksel A. Bariyatrik cerrahi operasyonu geçiren morbid obez bir hastanın 3 yıl sonraki beslenme durumu: olgu sunumu, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 1(1), 39-45, 2016.
- [67] Türkçapar A. Bariyatrik cerrahide reoperasyon, Endoskopik Laparoskopik ve Minimal İnvaziv Cerrahi Dergisi, 17(1), 46-55, 2010.
- [68] Angrisani L., Santonicola A., Iovino P., Formisano G., Buchwald H., Scopinaro N. Bariatric surgery worldwide 2013, Obesity Surgery, 25(10), 1822-1832, 2015.
- [69] Mechanick J., Kushner R., Sugerman H., Campoy J.G., Clavell M.C., Guven S., vd. American association of clinical endocrinologists, the obesity society, and american society for metabolic and bariatric surgery medical guidelines for clinical practice for the perioperative nutritional, metabolic, and nonsurgical support of the bariatric surgery patient, Endocrine Practice, 14, 1-83, 2008.
- [70] Berdanier C.D., Dwyer J.T., Feldman E.B. Handbook of Nutrition and Food. Boca Raton, London, New York: CRC press, p.1247, 2007.
- [71] Mason E.E. Vertical banded gastroplasty for obesity. Archives of surgery, 117(5), 701-706, 1982.
- [72] Kuzmak L.I. Silicone gastric banding: a simple and effective operation for morbid obesity. Contemporary Surgery, 28, 13-18, 1986.
- [73] Scopinaro N., Gianetta E., Civalleri D., Bonalumi U., Bachi V. Biliopancreatic bypass for obesity: II. Initial experience in man. British Journal of Surgery, 66, 618-620, 1979.
- [74] Kremen A.J., Linner J.H., Nelson C.H. An experimental evaluation of the nutritional importance of proximal and distal small intestine. Annals of Surgery. 140(3), 439, 1954.
- [75] SAGES Guidelines Committee. SAGES guideline for clinical application of laparoscopic bariatric surgery. Surgical Endoscopy, 22(10), 2281-2300, 2008.
- [76] Schirmer B., Schauer P.R. The Surgical Management of Obesity. Schwartz's Principles of Surgery Ninth Edition. USA, McGraw-Hill Companies, p.952-3, 2010.
- [77] Sabuncu T., Kıyıcı S., Eren M.A. Sancak S., Sönmez A., Güldiken S. et al. Summary of bariatric surgery guideline of the society of endocrinology and metabolism of turkey. Turkish Journal of Endocrinology and Metabolism, 21, 140-147, 2017.

Yazım Kuralları

Haziran ve Aralık sayısı olmak üzere yılda iki defa yayımlanan uluslararası hakemli bir dergidir. Derginin asıl amacı fen bilimleri, temel alanlar ve mühendislik alanlarında nitelikli akademik çalışmaların yayımlanmasına katkı yapmaktır.

Dergide yayımlanan makaleler yazı işlerinin izni olmaksızın başka hiç bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Kısmen veya tamamen yayımlanan makaleler kaynak gösterilmeden hiçbir yerde kullanılamaz. Dergiye gönderilen makalelerin içerikleri özgün, daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Makaledeki yazarlar isim sırası konusunda fikir birliğine sahip olmalıdır.

*Makalenin hazırlanması sırasında yardımcı olması amacıyla, internet sitemizde yazarlar için linkinin altında yer alan **MSUFBD** Dergisi yazım kurallarına göre hazırlanmış "örnek_makale" dosyasını bilgisayarınıza indirmeniz ve makalenizi bu makaleyi örnek alarak hazırlamanız, düzenlemelerde kolaylık ve zaman tasarrufu sağlayacaktır. Bu makaleyi bilgisayarınıza Word programında şablon (template) olarak kaydederek de makalenizi hazırlayabilirsiniz.*

- Makaleler MS Word 2007 veya üstü bir sürümde hazırlanarak gönderilmelidir.
- Sayfa yapısı özel boyutta (15.5x23 cm), MS Word programında, Times New Roman veya benzeri bir yazı karakteri ile 10 punto, tek satır aralığıyla yazılmalıdır. Sayfa kenarlarında üst 2.5 cm olmak üzere diğer kenarlar için 2.5 cm boşluk bırakılmalı ve sayfalar numaralandırılmalıdır.
- Yazar(lar)ın ad(lar) ve soyad(lar), kurumsal unvanları; yazar(lar)ın görev yaptığı kurum(lar) ve e-posta adres(ler) bilgileri verilmelidir. Ayrıca makalelerde sorumlu yazar belirtilmelidir. Times New Roman 10 punto, tek satır aralığıyla yazılmalıdır.
- Makale başlığı, içerikle uyumlu, içeriği en iyi ifade eden bir başlık olmalıdır. Başlık, kalın ve 12 punto büyüklüğünde olmalı ve ilk harfler büyük olacak şekilde sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Makaleler aynı özellikte İngilizce bir başlık/title içermelidir.
- Makalenin başında, konuyu kısa ve öz biçimde ifade eden ve en az 75, en fazla 150 kelimedenden oluşan Türkçe "Öz" bulunmalıdır. Öz içinde, yararlanılan kaynaklara, şekil ve çizelge numaralarına değinilmemelidir. Adres/ler den 2 satır boşluk bırakıldıktan sonra, Times New Roman 10 punto, tek satır aralığıyla yazılmalıdır. Özün altında bir satır boşluk bırakılarak, en az 3, en çok 6 sözcükten oluşan anahtar kelimeler verilmelidir. Anahtar kelimeler makale içeriği ile uyumlu ve kapsayıcı olmalıdır. Aynı şekilde makaleler İngilizce bir başlık/title, anahtar sözcükler/keywords ve öz/abstract içermelidir.
- **MSUFBD**'in yayın dili Türkçe ve İngilizcedir.
- Herhangi bir sempozyum veya kongrede sunulmuş olan çalışmalar kongrenin adı, yeri ve tarihi belirtilerek yayımlanabilir. Bir araştırma kurumu veya fonu tarafından desteklenen çalışmalarda desteği sağlayan kuruluşun adı ve proje numarası verilmelidir.
- Makaleler Giriş, Materyal ve Metod, Deneysel Kısım, Gereç ve Yöntem, Tartışma, Sonuç vb. yer alacak şekilde hazırlanmalı ve alt başlıklar ikinci derece başlıklar Times New Roman 10 punto ile sağa hizalı olarak düzenlenmelidir.
- Formüller ve denklemler Math Type ya da Word Denklem Düzenleyici kullanılarak yazılmalıdır.
- Çalışma, dil bilgisi kurallarına uygun olmalıdır. Makalede noktalama işaretlerinin kullanımında, kelime ve kısaltmaların yazımında en son çıkan TDK Yazım Kılavuzu esas alınmalı, açık ve yalın bir anlatım yolu izlenmeli, amaç ve kapsam dışına taşan gereksiz bilgilere yer verilmemelidir. Makalenin hazırlanmasında geçerli bilimsel yöntemlere uyulmalı, çalışmanın konusu, amacı, kapsamı, hazırlanma gerekçesi vb. bilgiler yeterli ölçüde ve belirli bir düzen içinde verilmelidir.
- Bir makalede sırasıyla özet, ana metnin bölümleri, kaynakça ve (varsa) ekler bulunmalıdır. Makalenin bir "Giriş" ve bir "Sonuç" bölümü bulunmalıdır. "Giriş" çalışmanın amacı, önemi, dönemi, kapsamı, veri metodolojisi ve planını mutlaka kapsamalıdır. Konu gerektiriyorsa literatür tartışması da bu kısımda verilebilir. "Sonuç" araştırmanın amaç ve kapsamına uygun olmalı, ana çizgileriyle ve öz olarak verilmelidir. Metinde sözü edilmeyen hususlara "Sonuç"ta yer verilmemelidir. Belli bir düzen sağlamak amacıyla ana, ara ve alt başlıklar kullanılabilir.
- Tablo/Şekillerin numarası ve başlığı bulunmalıdır. Tablo çiziminde dikey çizgiler kullanılmamalıdır. Yatay çizgiler ise sadece tablo içindeki alt başlıkları birbirinden ayırmak için kullanılmalıdır. Tablo/Şekil numarası üste, tam sola dayalı olarak Times New Roman 10 punto yazılmalı; tablo/şekil adı ise, her sözcüğün ilk harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır. Ayrıca tablo/şekiller siyah beyaz baskıya uygun hazırlanmalıdır.
- Makalede, düzenli bir bilgi aktarımı sağlamak üzere ana, ara ve alt başlıklar kullanılabilir. Makale başlığı dışındaki diğer tüm başlıklar 10 punto yazılmalıdır. Birinci derece başlıklar büyük ve koyu karakterde; ikinci derece başlıklar, yalnız ilk harfleri büyük ve koyu olmayan; üçüncü derece başlıklar ise yalnız ilk harfleri büyük, koyu olmayan ve italik harflerle yazılmalıdır. Ayrıca başlıklar, öncesi ve sonrası 6 nk olacak şekilde ayarlanmalıdır.

MSUFBD
Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Mus Alparslan University Journal of Science

BİRİNCİ DERECE BAŞLIK

İkinci Derece Başlık

Üçüncü Derece Başlık

- Kaynak göstermede makale içerisinde “köşeli parantez içerisinde numara” ile yazılmalıdır. Her kaynak kendi orijinal dilinde verilmelidir. Kaynaklar Times New Roman 9 punto ile yazılmalıdır. Kaynaklar yazılırken sıralama aşağıdaki şekilde olmalıdır:
- Chen Y. R., Chao K., Kim M. S. Machine vision technology for agricultural applications, Computers and Electronics in Agriculture, 36, 173-191, 2002.
- Kumar A. Computer vision based fabric defect detection: a survey, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 55, 348-363, 2008.
- Yetis H., Baygin M., Karaköse M. A New Micro Genetic Algorithm Based Image Stitching Approach for Camera Arrays at Production Lines, The 5th International Conference on Manufacturing Engineering and Process (ICMEP 2016), 25-27 May, 2016.
- Aydın I., Karaköse E., Karaköse M., Gençoğlu M.T., Akin E., A New Computer Vision Approach for Active Pantograph Control, IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (IEEE INISTA 2013), Albena, Bulgaria, 2013.
- Lim S. H. Video-processing applications of high speed cmos image sensors, The Degree of Doctor of Philosophy, Stanford University, 2003.
- **MSUFBD'e** yazım kurallarına uygun olarak gönderilen makaleler, daha sonraki aşamada intihal denetiminden geçirilir. Dergide intihal denetimi iThenticate programı ile yapılmaktadır ve intihal denetiminde kabul edilebilir benzerlik oranı en fazla %20 olmalıdır.
- Yayım aşamasının ilk adımı için makaleler Online Başvuru Sistemi aracılığıyla yollanmalıdır. Başvurunun hemen ardından elektronik posta adresinize otomatik olarak bir onay mesajı gönderilecektir. Daha fazla bilgi için <http://dergipark.gov.tr/msufbd> elektronik adresi aracılığıyla editörümüzle bağlantıya geçilebilir.

MSUFBD
Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Mus Alparslan University Journal of Science

Instructions for Authors

MSUFBD is an international peer-reviewed journal that is published two times a year. The purpose of the journal is to make contributions to publishing qualified academic studies in sciences, basic and engineering areas.

The articles that are published in the journal cannot be published or presented anywhere else unless permission is granted from the editorial board. The articles that are published either partially or completely cannot be used anywhere else unless reference is given. The content of the articles that are sent to the journal has to be authentic, not previously published or sent to be published. The authors of the articles have to have a consensus regarding the list of the names in the article.

If you download the "sample article" that was prepared according to spelling rules and format of the **MSUFBD** Journal from our website through the link for authors to help you prepare the article, this will save your time and facilitate the preparation process. You can also prepare your article by saving this sample as a template on the Microsoft Word program.

- The articles should be in MS Word 2007 or higher version.
- The layout has to be custom-designed (15.5x23 cm). The file format has to be MS Word. The font has to be Times New Roman or a similar one with a size of 10. The file has to have single-line spacing. Page margins have to be 2.5 cm on the top and 2.5 cm for all the other sides. The pages have to be numbered.
- The articles need to include the name(s), surname(s), institutional title(s), institution name(s), and e-mail address(es) of the author(s). In addition, the corresponding author has to be indicated in the articles. The font has to be Times New Roman with a size of 10 and single line spacing.
- The title of the article has to be consistent with the content and must reflect the content in the best way possible. The title has to be boldface with a font size of 12. The first letter of all the words has to be uppercase. The title has to be centered. The articles need to have an English title with the same properties.
- The article needs to include an "Abstract" at the beginning not less than 75 words nor longer than 150 words summarizing the content in the most precise and concise way. The abstract must not include references, figures, and table numbers. Leaving a space under the abstract, the author has to add keywords including at least 3 and utmost 6 words. The keywords have to be consistent with the content and need to be comprehensive. Similarly, the articles have to include an English title, keywords, and abstract.
- **MSUFBD** is published in Turkish and English.
- The works that are presented in any symposium or congress can be published after specifying the name, place and the date of the congress. The works that are supported by a research organization or fund have to indicate the name of the supportive organization and the number of project.
- The articles have to be organized as introduction, body, experimental, result and discussion and conclusion. Sub-titles and lower-level titles have to have a font size of 10 and be right-aligned.
- Formulas and equations need to be written via Math Type or Word Equation Editor.
- The study has to comply with grammatical rules. The latest Turkish Language Association Spell Check has to be employed regarding the use of punctuation, spelling of the words, and abbreviations. The text is expected to be clear and simple. No expressions out of purpose and scope must be included in the work. The valid scientific methods have to be employed to prepare the article. The content, purpose, scope, justification, etc. of the study have to be provided as much as needed in a certain order.
- An article is expected to include abstract, sections of the main text, references, and appendices (if there is any) respectively. An article has to have an "Introduction" and "Conclusion" sections. The "Introduction" is definitely expected to include the purpose, importance, period, scope, data methodology, and outline of the study. If it is necessary for the subject to be dealt with, literature review can be given in this section as well. The "conclusion" needs to be in compliance with the study's purpose and scope. It needs to be given generally and concisely. The points that are not mentioned within the text must not be included in "conclusion". Headings, titles, and sub-titles can be used to organize the text.
- Tables/Figures need to be numbered and given with their titles. No vertical lines must be used to draw the tables. Horizontal lines can only be used to separate the sub-titles within the table from each other. Table/Figure number has to be at the top left-aligned and non-Italic with Times New Romans 10 font. The name of tables/figures has to be written with each word having its first letter uppercase. In addition, tables/figures have to comply with black and white print. If there is anything in the table that requires reference, the references must be given at the bottom of the table with in-text reference format.
- Headings, titles, and sub-titles can be used to ensure an ordered information transfer. All the other titles except for the title of the article have to have a font size of 10. First-level titles need to be uppercase and boldface; the first letters of

MSUFBD
Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Mus Alparslan University Journal of Science

all the words in the second-level titles need to be uppercase and not boldface; and only the first letters of the words in the third-level titles need to be uppercase, and these titles have to be italic. In addition, the titles have to be organized with 6 nk before and after the title.

FIRST-LEVEL TITLE

Second-Level Title

Third-level Title

The reference should be marked with "number in square brackets" in the article. Each reference must be given in its original language. The references should be written in Times New Roman 9 point. When writing the references, the sequence should be as follows:

- Chen Y. R., Chao K., Kim M. S. Machine vision technology for agricultural applications, Computers and Electronics in Agriculture, 36, 173-191, 2002.
- Kumar A. Computer vision based fabric defect detection: a survey, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 55, 348-363, 2008.
- Yetis H., Baygin M., Karaköse M. A New Micro Genetic Algorithm Based Image Stitching Approach for Camera Arrays at Production Lines, The 5th International Conference on Manufacturing Engineering and Process (ICMEP 2016), 25-27 May, 2016.
- Aydin I., Karakose E., Karaköse M., Gençoğlu M.T., Akın E., A New Computer Vision Approach for Active Pantograph Control, IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (IEEE INISTA 2013), Albena, Bulgaria, 2013.
- Lim S. H. Video-processing applications of high speed cmos image sensors, The Degree of Doctor of Philosophy, Stanford University, 2003.
- The manuscripts that comply with the publication principles of anemon are passed through plagiarism checking. The journal uses the Ithenticate software to detect instances of overlapping and similar text in submitted manuscripts. If the similarity level is above %20, the manuscript is not accepted for publication.
- The articles are sent through Online Application System for the first step of the publication. An automatically-sent confirmation message is sent to your e-mail address upon the completion of the application. For further information, please contact the editor via <http://dergipark.gov.tr/msufbd>.

MSUFBD
Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Mus Alparslan University Journal of Science

Değerlendirme Süreci

- **MSUFBD'e** gönderilen yazılar, önce Yayın Kurulunca dergi ilkelerine uygunluk açısından bir ön değerlendirmeye tabi tutulur. Dergi kapsamına girmeyen veya bilimsel bir yazı formatına içerik ve şekil şartları açısından uymayan yazılar, hakemlik süreci başlatılmadan geri çevrilir ya da bazı değişiklikler istenebilir. Yayın için teslim edilen makalelerin değerlendirilmesinde akademik tarafsızlık ve bilimsel kalite en önemli ölçütlerdir.
- **MSUFBD'e** yayın kurallarına uygun olarak gönderilen makaleler, daha sonraki aşamada intihal denetiminden geçirilir. Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'nde intihal denetimi, Ithenticate paket programı aracılığıyla gerçekleştirilmekte ve intihal denetiminde, benzerlik oranının %20'nin üstüne çıkmaması gerekmektedir. İlgili çalışmada herhangi bir intihale rastlanmadığı takdirde değerlendirilmek üzere o alandaki çalışmalarıyla tanınmış iki hakeme gönderilir. **MSUFBD** Dergisi, sürecin her aşamasında, hakem ve yazarların isimlerinin saklı tutulduğu çift-kör hakemlik sistemini kullanmaktadır. Hakem raporlar beş yıl süreyle saklanır. Makaleyi değerlendiren iki hakemden birisinin olumlu diğerinin olumsuz rapor vermesi durumunda makale üçüncü hakeme gönderilmekte veya Yayın Kurulu, hakem raporlarını inceleyerek nihai kararı vermektedir.
- **MSUFBD'e** gönderilen çalışmalarda yazarlar, hakem ve Yayın Kurulunun eleştiri ve önerilerini dikkate alırlar. Katılmadıkları hususlar varsa gerekçeleriyle birlikte itiraz etme hakkına sahiptirler. Dergideki hakemlik sürecinde, akademik unvana sahip kişilerin yayımları için ancak eşit ya da üst derecede akademik unvana sahip kişiler hakem olabilir.
- **MSUFBD'e** hakem değerlendirme süreci, istenilmeyen nedenlerden dolayı bazen uzun sürebilmektedir. Normal koşullarda editör tarafından ön değerlendirme aşaması bir hafta; hakem değerlendirme süreci de 8 hafta olarak planlanmaktadır. Ancak hakemlerden zamanında dönüş olmaması nedeniyle yeniden hakem atama vb. nedenlerden dolayı hakem değerlendirme süreci uzayabilmektedir.
- **MSUFBD'e** makale gönderen yazar/yazarlar, Derginin söz konusu hakem değerlendirme koşullarını ve sürecini kabul etmiş sayılırlar.
- **MSUFBD'de** yayımlanmasına karar verilen (kabul edilen) çalışmaların telif hakkı, Muş Alparslan Üniversitesi'ne devredilmiş sayılır.

MSUFBD
Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Mus Alparslan University Journal of Science

Peer Review Process

- The papers that are sent to **MSUFBD** are subjected to preliminary assessment by the Editorial Board to see whether the work complies with the principles of the journal. The papers that are out of the scope of the journal or do not comply with the format of a scientific text either in terms of content or style are either rejected or demanded to be corrected prior to peer-review process. Academic objectivity and scientific quality are the most important criteria for the assessment of the articles that are submitted to be published.
- The articles that comply with the publication principles of **MSUFBD** are passed through plagiarism checking. Journal of Social Sciences of Muş Alparslan University uses the iThenticate software to detect instances of overlapping and similar text in submitted manuscripts. The journal allows an overall similarity of 20% for a manuscript to be considered for publication. After determining an acceptable similarity rate, the article is sent to two reviewers who are known for their studies in the relevant field. **MSUFBD** employs double-blind review system in which the names of neither the reviewers nor the authors are disclosed in any of the phases of the process. Reviewer reports are saved for five years. If one of the reviewers gives positive feedback while the other gives negative feedback, the article is either sent to a third reviewer or Editorial Board examines the reviewer reports to make the final decision.
- The authors submitting papers to **MSUFBD** take into account the criticisms and suggestions of the reviewers and the Editorial Board. The authors also have the right to object to the points with which they disagree. In the reviewing process, the publications of people with academic titles are only reviewed by academics of either an equal or a higher degree.
- Assessment process of **MSUFBD** may sometimes take long periods of time due to undesired reasons. Normally, preliminary assessment by the editor takes a week while reviewer's assessment period takes 8 weeks. However, reviewer assessment process may get longer when reviewers do not respond on time or in cases of appointing a new reviewer and so on.
- The author/authors submitting papers to **MSUFBD** is/are considered to have accepted the aforementioned reviewing conditions and process of the journal.
- The copyrights of the works that are decided to be published (accepted) in **MSUFBD** is transferred to Muş Alparslan University.

MSUFBD
Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Mus Alparslan University Journal of Science

Yayın İlkeleri

- **MSUFBD**, ulusal ve uluslararası düzeyde yapılan, fen, temel alanlar ve mühendislik bilimleri alanında özgün ve nitelikli çalışmaları, bilimsel bir yaklaşımla ele alarak fen bilimler alanlarındaki çalışmaların niteliğinin yükselmesine, yöntem ve uygulamaların gelişmesine, kuram ve uygulama alanlarındaki çalışmalar arasında iletişimin güçlenmesine ve fen bilimleri alanındaki literatürün zenginleşmesine katkı sağlamak amacıyla yayımlanmaktadır.
- **MSUFBD**'e, matematik, fizik, kimya, biyoloji, çevre bilimi, sağlık, eczacılık, mühendislik bilimleri vb. tüm fen bilimlerine ait özgün ve nitelikli bilimsel çalışmaları destekleyerek bilim camiasında üretilen bilgileri akademisyenlerin ve kamuoyunun istifadesine sunmak amacıyla yeni ve özgün çalışmalara yer verilmektedir.
- **MSUFBD**'e gönderilecek çalışma, alanında bir boşluğu dolduracak özgün bir yazı olmalı ya da daha önce yayımlanmış çalışmaları değerlendiren, konuya dair yeni ve dikkate değer görüşler ortaya koyan inceleme olmalıdır.
- **MSUFBD**'e gönderilecek yazılar makale, çeviri ve kitap tanıtımı türünde olmalıdır. Dergimize gönderilen çeviri yazılar için, makale sahibinin yayın izni ve orijinal metin gereklidir.
- **MSUFBD**'e yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir.
- **MSUFBD**'e gönderilen çalışmalar daha önce hiçbir yerde yayımlanmamış ve halihazırda yayımlanmak üzere sunulmamış olmalıdır. Bilimsel bir toplantıda sunulmuş bildiriler, durum açıkça belirtilmek şartıyla dergiye gönderilebilir.
- **MSUFBD**'e Kış/Aralık ve Yaz/Haziran sayısı olmak üzere yılda iki defa düzenli olarak yayımlanmaktadır.
- **MSUFBD**'e gönderilen yazılara telif hakkı ödenmez. Yayımlanan makalelerin telif hakkı Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimler Dergisi'ne aittir.
- **MSUFBD**'de yayımlanan yazıların bilimsel ve hukuki sorumluluğu yazarlarına aittir.
- **MSUFBD**'de yer alan yazılardaki görüş ve düşünceler yazarlarının kişisel görüşleri olup derginin ve bağlı olduğu kurumların görüşlerini yansıtmaz.
- **MSUFBD**'e gönderilen çalışmalar, TÜBİTAK ULAKBİM'in DergiPark Sistemi (UDS) üzerinden elektronik ortamda gönderilmektedir. Bu sisteme <http://dergipark.gov.tr/msufbd> da yer alan "Kullanıcı Sayfası/Yeni Gönderi" linkinden ulaşılabilir. Söz konusu sisteme kayıt yapıp makale gönderildikten sonra hakem süreciyle ilgili gelişmeler ve hakem değerlendirme raporları yazarlar tarafından kolaylıkla takip edilebilir.

MSUFBD
Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Mus Alparslan University Journal of Science

Editorial Principles

- **MSUFBD** is a national and international peer-reviewed journal that publishes authentic and qualified works with a scientific approach in the fields of science, basic and engineering sciences. It is published to contribute to raising the quality of the social sciences studies, development of methods and practices, to strengthen the communication between theoretical and practical studies, and to enrich the science literature.
- **MSUFBD** supports all the authentic and qualified scientific studies in the science fields including maths, physics, chemistry, biology, health, pharmacy, engineering sciences *etc.* It publishes new and authentic works to offer the knowledge produced by scientific circles for the benefit of academics and public.
- The works that are sent to **MSUFBD** must be both an authentic work to eliminate a lack in the literature or a review assessing the previously-published works and suggesting relevant, new, and noteworthy opinions.
- The texts that are sent to **MSUFBD** include articles, translations, and book promotions. For the translated texts, publication permission of the owner of the article and the source text are required.
- Publication languages of **MSUFBD** are Turkish and English.
- The works that are sent to **MSUFBD** must not be published previously anywhere. They have to be ready for publication. The papers that have previously been presented in a scientific meeting can be sent to the journal if it is clearly indicated.
- **MSUFBD** is regularly published in Winter/December and Summer/June per year.
- No copyright payment is made for the papers that are sent to **MSUFBD**. The copyrights of the works that are published in **MSUFBD** are transferred to Mus Alparslan University Journal of Science.
- Scientific and legal liabilities of the articles published in **MSUFBD** belong to the authors.
- All the opinions and ideas indicated in the articles that are published in **MSUFBD** are authors' personal opinions and do not reflect the opinions of the Journal or the affiliated institutions by any means.
- The works that are sent to **MSUFBD** are sent to TUBITAK ULAKBIM's DergiPark System (UDS) in electronic environment. This system can be accessed via <http://dergipark.gov.tr/msufbd> under the link "User Page/New Submission". After registering in the system and submitting the paper, the developments regarding the reviewing process and reviewer reports can be followed by the authors.

MSUFBD
Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Mus Alparslan University Journal of Science

Yazışma Adresi / Address

Muş Alparslan Üniversitesi
MSUFBD Dergi Editörlüğü

Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
49250 – MUŞ/TÜRKİYE

Tel: 0 436 249 49 49 / 3671 - Fax: 0 436 213 00 28

Web: <http://dergipark.gov.tr/msufbd>

e-mail: msufbd@alparslan.edu.tr